



SKRIPSI - ME141501

ANALISA KERUSAKAN FITTING ELBOW PADA SISTEM PENDINGIN KONDENSOR AIR CONDITIONER

HAMZAH FANSYURI
NRP 4213 100 059

Dosen Pembimbing
Ir. Hari Prastowo, M.Sc.
Irfan Syarief S.T.,M.T

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



SKRIPSI - ME141501

ANALISA KERUSAKAN FITTING ELBOW PADA SISTEM PENDINGIN KONDENSOR AIR CONDITIONER

HAMZAH FANSYURI
NRP 4213 100 059

Dosen Pembimbing
Ir. Hari Prastowo, M.Sc.
Irfan Syarief S.T.,M.T

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA



FINAL PROJECT - ME141501

ANALYSIS DEMAGE OF ELBOW FITTING AT CONDENSER AIR CONDITIONING COOLING SYSTEM

HAMZAH FANSYURI
NRP 4213 100 059

Advisor :
Ir. Hari Prastowo, M.Sc.
Irfan Syarief S.T.,M.T

DEPARMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA KERUSAKAN FITTING ELBOW PADA SISTEM PENDINGIN KONDENSOR AIR CONDITIONER

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Marine Machinery and System (MMS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
HAMZAH FANSYURI
NRP 4213 100 059

Disetujui oleh Pembimbing SKRIPSI :

Ir. Hari Prastowo, M.Sc.
NIP. 1965 1030 1991 02 1001

Irfan Syarief S.T.,M.T
NIP. 1969 1225 1997 02 1001



SURABAYA
Juli, 2017

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA KERUSAKAN FITTING ELBOW PADA SISTEM PENDINGIN KONDENSOR AIR CONDITIONER

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Marine Machinery and System (MMS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

HAMZAH FANSYURI
NRP 4213 100 059

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem perkapalan :



SURABAYA
Juli, 2017

ANALISA KERUSAKAN FITTING ELBOW PADA SISTEM PENDINGIN KONDENSOR AIR CONDITIONER

Nama Mahasiswa : Hamzah Fansyuri
NRP : 4213 100 059
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Hari Prastowo, M.Sc.
2. Irfan Syarief S.T.,M.T

Abstrak

Fitting elbow merupakan salah satu jenis fitting pada instalasi perpipaan yang berfungsi untuk merubah arah aliran. Dengan adanya perubahan aliran secara tiba tiba maka akan berpengaruh pada kondisi fisik dari elbow. Perubahan aliran pada elbow akan mengakibatkan perubahan kecepatan aliran yang mengenai dinding elbow, kondisi tersebut akan menyebabkan terjadinya fenomena korosi erosi. Korosi erosi merupakan jenis korosi yang menggunakan proses mekanik melalui pergerakan relative aliran dengan logam. Korosi erosi juga dapat disebabkan oleh adanya impingment corrotion atau pergerakan aliran yang sangat deras. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyebab kerusakan pada elbow dengan menggunakan simulasi CFD dan melakukan pemecahan masalah dengan menambahkan Vortex Generator atau sistem pengacau aliran yang dipasang di dalam instalasi pipa dan mensimulasikannya kembali. Dari hasil penelitian yang dilakukan bahwa kerusakan elbow diakibatkan oleh kecepatan aliran yang tinggi yang mengenai bagian outer elbow. Penambahan Vortex Generator terbukti dapat digunakan untuk mengurangi kecepatan aliran berlebih pada bagian terdampak korosi erosi. Menurut hasil penelitian penempatan vortex generator paling efesien jika ditempatkan pada jarak 0.1 R dari inlet elbow.

Kata kunci : *Computational Fluid Dynamic (CFD), Korosi erosi, Kecepatan aliran, Vortex Generator.*

ANALYSIS DEMAGE OF ELBOW FITTING AT CONDENSER AIR CONDITIONING COOLING SYSTEM

Student Name : Hamzah Fansyuri
Registration Number : 4213 100 059
Departement : Teknik Sistem Perkapalan
Supervisor : 1. Ir. Hari Prastowo, M.Sc.
2. Irfan Syarief S.T.,M.T

Abstract

Elbow fittings is one type of fitting on the piping installation that serves to change the flow direction. With the sudden flow of changes, it will affect the physical condition of the elbow. The flow changes in the elbow will result in changes of flow velocity that affect wall of elbow, the condition will cause erosion corrosion phenomenon. Erosion corrotion is a type of corrosion that uses a mechanical process through the relative movement of the flow and metal. Corrosion erosion can also be caused by impingment corrotion or very rapid flow movement. This study aims to determine the cause of damage elbow by using a CFD simulation and troubleshooting by adding a Vortex Generator or a installed disturber system in the pipeline installation and simulating it again. From the results of research conducted that elbow damage caused by high flow velocity that concerns the outer elbow. The addition of Vortex Generator is proven to be used to reduce excessive flow velocity on erosion-corroded parts. According to the results of the investigation the placement of the most efficient vortex generator if placed at a distance of $0.1 R$ from elbow inlet.

Keywords : Computational Fluid Dynamic (CFD), Erosion Corroton, Flow Velocity, Vortex Generator

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir dengan judul **“Analisa Kerusakan Fitting Elbow pada Sistem Pendingin Kondensor Air Conditioner”** untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Bidang Studi Marine Machinery and System (MMS), Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan. Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penulisan laporan ini penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, petunjuk, saran serta dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis banyak mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, Moch Mahbub Junaidi dan Sumiati, Saudara tersayang, M Mulqi Mahbub dan M Ubaidillah Dzikro, yang senantiasa memberikan dorongan material dan spiritual, terima kasih atas doa-doa yang tak pernah putus dan tak ternilai harganya.
2. Bapak Ir. Hari Prastowo M.Sc., selaku Dosen Pembimbing pertama, yang telah memberikan bimbingan, bantuan, arahan, masukan dan nasehat selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Irfan Syarief, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing kedua yang telah memberikan banyak dorongan dan masukan agar terselasaikannya Tugas Akhir ini.
4. Bapak Prof. Semin, S.T., M.T, Ph.D, selaku Dosen Wali yang telah memberikan petunjuk, amanah dan nasehat layaknya orang tua sendiri selama 4 tahun ini sehingga dapat menyelesaikan semua perkuliahan dengan baik.
5. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS, yang telah memberikan pengetahuan tentang jurusan yang awalnya penulis tidak ketahui.
6. Syamsi Firdaus Siskal 2011 dan Aji Suryadi Siskal 2012 yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Zein Arfian Bismarck'12 yang senantiasa memberikan semangat, Ilmu dan yang telah membantu penulis dalam banyak hal.
8. Rekan seperjuangan dan angkata tercinta Barakuda 13, anggota laboratorium Marine Fluid Machinery and System (MMS), anggota laboratorium Marine Manufacture and Design (MMD) yang telah berjuang bersama-sama dan saling memberikan semangat.
9. Seluruh angkatan yang telah mendidik dan mensupport saya selama berada di jurusan tercinta ini, Amphibi'11, Bismarck'12, Mercusuar'14, Salvage' 15, dan Voyage' 16.
10. Rekan senasib dan seperjuangan anggota Kontrakan Bahtera & GGM sebagai awal mula kiprah di kampus perjuangan selama 3 tahun.
11. Rekan Kuliah, rekan proyek, rekan susah, rekan senang, rekan tidur dan rekan main yaitu anggota “Kontrakan Abah”.
12. Kabinet Mahakarya yang telah memberikan pengalaman berharga selama satu tahun kepengurusan HIMASISKAL 2015-2016.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu adanya kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan penulisan selanjutnya.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan dapat menjadi tambahan ilmu dan pedoman untuk melakukan penulisan selanjutnya.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|-------------------------|-----|
| Halaman Judul | |
| Lembar Pengesahan | iii |
| Abstrak | vii |
| Kata Pengantar | xi |
| Daftar Isi | xv |
| Daftar Gambar | xix |
| Daftar Tabel | xxi |

BAB I PENDAHULUAN

| | |
|---------------------------|---|
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan | 2 |
| 1.4 Batasan Masalah | 3 |

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

| | |
|---|----|
| 2.1 Pengertian Korosi Erosi | 5 |
| 2.2 Mekanisme Pembentukan Korosi Erosi | 5 |
| 2.3 Pengaruh kecepatan aliran terhadap Korosi Erosi | 6 |
| 2.5 Penelitian Sebelumnya Terkait Korosi Erosi | 7 |
| 2.3 Hukum Bernaulli | 13 |
| 2.6 Computational Fluid Dynamic (CFD) | 14 |

BAB III METODE PENELITIAN

| | |
|--|----|
| 3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah | 17 |
| 3.2 Studi Literatur | 17 |
| 3.3 Pengumpulan Data | 17 |
| 3.4 Penggambaran Model | 19 |
| 3.4.1 Model Sistem Standart | 20 |
| 3.4.2 Model Sistem Modifikasi 1 | 20 |
| 3.4.3 Model Sistem Modifikasi 2 | 22 |
| 3.5 Simulasi | 23 |
| 3.5.1 Pengolahan Model Pada NUMECA Fine Open | 23 |
| 3.5.2 Simulasi CFD NUMECA Fine Open | 27 |
| 3.6 Analisa Data Percobaan | 27 |
| 3.7 Pemecahan Masalah | 28 |
| 3.8 Kesimpulan | 28 |
| 3.8 Flow Chart Tugas akhir | 29 |

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

| | |
|--|----|
| 4.1 Hasil Simulasi Model Elbow Standart | 31 |
| 4.2 Pememecahan Masalah | 33 |
| 4.2.1 Hasil Modifikasi Elbow Pertama | 34 |
| 4.2.2 Hasil Modifikasi Elbow Kedua | 36 |
| 4.2.3 Hasil Perbandingan Modifikasi Pada Elbow | 39 |

| | |
|--|----|
| 4.2.4 Pengaruh Penambahan Vortex Generator | 46 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | |
| 5.1 Kesimpulan | 49 |
| 5.2 Saran | 49 |
| Daftar Pustaka | 51 |
| Lampiran | 53 |
| Biodata Penulis | 63 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 1.1 | Skema sistem pendingin ruang akomodasi di kapal | 2 |
| Gambar 2.1 | Potongan pipa stainless steel yang mengalami pitting | 5 |
| Gambar 2.2 | Bentuk kerusakan horseshoe akibat kecepatan fluida yang tinggi | 6 |
| Gambar 2.3 | Pipa injector uap milik PT. Chevron Pasific indonesia (CPI) mengalami kebocoran di bagian elbow | 8 |
| Gambar 2.4 | Erosi terjadi pada outer elbow | 9 |
| Gambar 2.5 | Grafik hubungan jarak choke bean dan elbow terhadap laju erosi | 9 |
| Gambar 2.6 | Kontur turbulensi keluaran choke bean pada jarak 12 in (0.3048 m)..... | 9 |
| Gambar 2.7 | Kontur turbulensi keluaran choke bean pada jarak 12 in (0.3048 m), 24 in (0.6096 m) dan 36 in (0.9144 m) | 10 |
| Gambar 2.8 | Kontur turbulensi di area elbow dengan choke bean pada jarak 12 in (0.3048 m) 24 in (0.6096 m), dan 36 in (0.9144 m) | 10 |
| Gambar 2.9 | Kontur tekanan statis di inner dan outer elbow | 11 |
| Gambar 2.10 | Kontur laju erosi akibat kecepatan steam | 11 |
| Gambar 2.11 | Erosi terjadi pada outer elbow | 11 |
| Gambar 2.12 | Grafik hubungan kecepatan steam terhadap laju erosi | 12 |
| Gambar 2.13 | Grafik hubungan antara kecepatan fluida Berbentuk udara terhadap laju erosi pada Penelitian X. Chen..... | 12 |
| Gambar 3.1 | Elbow pada sistem kondensor air conditioner kapal TNI Angkatan Laut..... | 18 |
| Gambar 3.2 | Gambar P&ID sistem Pendingin kondensor AC | 18 |
| Gambar 3.3 | Model elbow standart | 20 |
| Gambar 3.4 | Model Vortex Generator..... | 21 |
| Gambar 3.5 | Pemasangan Vortex Generator pada pipa..... | 21 |
| Gambar 3.6 | Pemasangan vortex generator pada posisi inlet elbow | 22 |
| Gambar 3.7 | Pemasangan vortex generator pada posisi 0.1 R dari inlet elbow..... | 23 |
| Gambar 3.8 | Import model pada Hexspress | 24 |
| Gambar 3.9 | Pembentukan domain | 25 |
| Gambar 3.10 | Proses mesh generation | 25 |
| Gambar 3.11 | Hasil mesh generation pada model | 26 |
| Gambar 3.12 | Batasan pada model | 26 |
| Gambar 3.13 | Kondisi massflow pada posisi inlet dan outlet..... | 27 |
| Gambar 3.14 | Diagram alur pengerjaan tugas akhir | 29 |
| Gambar 4.1 | Hasil simulasi kecepatan aliran pada model standart | 31 |
| Gambar 4.2 | Kontur kecepatan aliran spesifik pada model elbow standart | 31 |
| Gambar 4.3 | Vektor kecepatan aliran pada sisi elbow | 32 |
| Gambar 4.4 | Perbandingan kecepatan aliran dan tekanan pada elbow standart | 33 |
| Gambar 4.5 | Hasil simulasi berupa kecepatan aliran pada model Dengan penambahan vortex generator pada posisi inlet elbow..... | 34 |
| Gambar 4.6 | Kontur kecepatan aliran spesifik pada elbow dengan penambahan Vortex generator pada posisi inlet radius elbow..... | 34 |
| Gambar 4.7 | Kontur vektor pada bagian inner dan outer elbow..... | 35 |
| Gambar 4.8 | Kontur vektor pada bagian vortex generator | 35 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 4.9 | Perbandingan kecepatan aliran dan tekanan pada elbow modifikasi I | 36 |
| Gambar 4.10 | Hasil simulasi berupa kecepatan aliran pada model Dengan penambahan vortex generator pada posisi inlet elbow + 0.1R..... | 37 |
| Gambar 4.11 | Kontur kecepatan aliran spesifik pada elbow dengan penambahan Vortex generator pada posisi inlet radius elbow + 0.1R..... | 37 |
| Gambar 4.12 | Kontur vector pada bagian inner dan outer elbow | 38 |
| Gambar 4.13 | Kontur vector pada bagian vortex generator | 38 |
| Gambar 4.14 | Perbandingan kecepatan aliran dan tekanan pada elbow modifikasi 2 | 39 |
| Gambar 4.15 | Kontur kecepatan aliran pada 3 model elbow..... | 39 |
| Gambar 4.16 | Perencanaan potongan pada model elbow..... | 41 |
| Gambar 4.17 | Kontur kecepatan aliran pada masing masing potongan elbow pada 3 model elbow..... | 42 |
| Gambar 4.18 | Titik – titik kecepatan aliran pada potongan elbow..... | 43 |
| Gambar 4.19 | Kecepatan aliran pada tiga model elbow pada potongan ke-3..... | 44 |
| Gambar 4.20 | Kecepatan aliran pada tiga model elbow pada potongan ke-4..... | 45 |
| Gambar 4.21 | Kecepatan aliran pada tiga model elbow pada potongan ke-5..... | 46 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabel 2.1 | Pengaruh kecepatan aliran terhadap laju korosi baja karbon API 5L X-52 pada lingkungan NaCl 3.5% dengan CO ₂ pada pH 4..... | 7 |
| Tabel 3.1 | Spesifikasi pipa..... | 19 |
| Tabel 3.2 | Data pompa pendingin kondensor di kapal TNI AL..... | 19 |
| Tabel 3.3 | Data karakteristik kondisi model | 27 |

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem perpipaan adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mengalirkan suatu fluida dari tempat yang lebih rendah ke tujuan yang di inginkan dengan bantuan permesinan baik itu pompa ataupun compressor. Misalnya sistem perpipaan yang digunakan untuk memindahkan bahan bakar atau pelumas dari tangki ke engine, sistem suplai air laut sebagai pendingin, dan juga sistem untuk mensuplai air laut pada tangki penampungan sebagai stabilitas pada kapal, serta masih banyak lagi contoh sistem perpipaan yang ada di kapal yang menunjang operasional keselamatan, serta sistem penunjang aktifitas awak di dalam kapal.

Pada perencanaan sistem instalasi perpipaan diharapkan menghasilkan jaringan instalasi pipa yang efisien dimana dari segi peletakan maupun segi keamanan dalam pengoperasian harus diperhatikan sesuai peraturan klasifikasi maupun dari spesifikasi *installation guide* dari sistem pendukung permesinan. Dengan ketersediaan ruang yang terbatas didalam kapal, sistem instalasi diharapkan dapat berjalan seefisien mungkin. Sistem instalasi perpipaan di dalam kapal cenderung menggunakan fitting atau penambahan instalasi lebih banyak agar fluida yang dialirkan dapat mencapai tujuan yang di inginkan dengan ketersediaan tempat yang sangat minim.

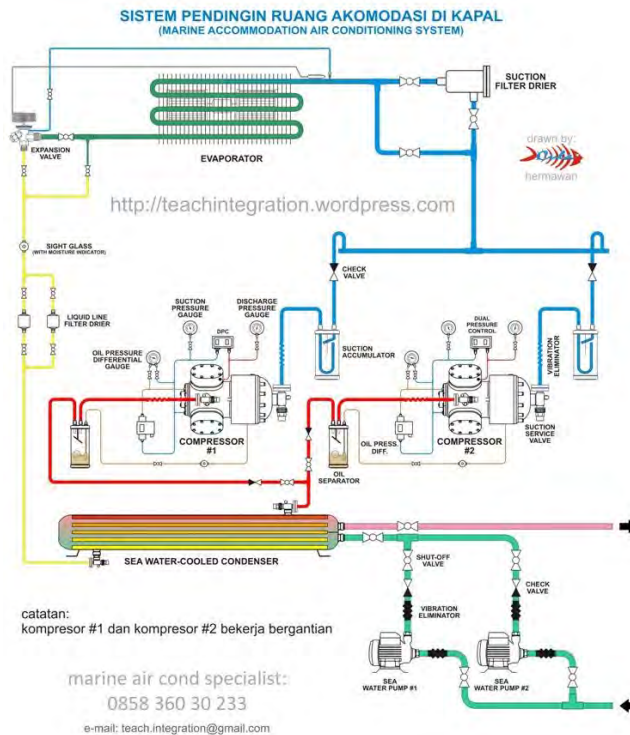
Fitting yang ada di dalam suatu instalasi sistem perpipaan berfungsi untuk merubah aliran, menyebarkan aliran, membesar atau mengecilkan aliran. Masih berkaitan dengan fitting *elbow* maka dalam tugas akhir ini hal yang akan dibahas oleh penulis adalah terkait kerusakan fitting *Elbow* (belokan) pada sistem Pendingin kondensor air conditioner di kapal milik TNI Angkatan Laut.

Kondensor atau pengembun adalah bagian dari refrigerasi yang menerima uap dari refrigerant tekanan tinggi yang panas dari compressor dan menghilangkan panas pengembunan itu dengan cara mendinginkan uap refrigerant tekanan tinggi yang panas ke titik embunnya dengan cara menghilangkan panas sensibelnya. Dalam kasus ini tipe kondensor yang dipakai adalah tipe pipa ganda dengan media air laut sebagai sarana pendingin refrigerant.

Fitting *elbow* sendiri merupakan suatu fitting yang berfungsi sebagai perubah aliran dalam suatu instalasi sistem perpipaan. Kerusakan yang terjadi pada fitting *elbow* tersebut dikarenakan adanya kecepatan aliran berlebih yang mengenai dinding fitting *elbow*. Hal tersebut biasa kita kenal dengan korosi erosi atau korosi akibat aliran fluida yang sangat cepat yang mengenai dinding logam.

Berdasarkan permasalahan yang ada, hal yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah terkait analisa aliran yang terjadi di fitting tersebut serta metode penyelesaian permasalahan untuk mengatasi masalah tersebut.

Berikut ini adalah sedikit gambaran terkait sistem pendingin kondensor untuk sistem pengkondisian udara di ruang akomodasi di kapal.



Gambar 1.1. Skema sistem pendingin ruang akomodasi di kapal.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas penelitian mengenai kerusakan *elbow* pada sistem pendingin kondensor pada air conditioner di kapal Milik TNI Angkatan Laut Memiliki rumusan masalah sebagai berikut :

1. Apa yang menyebabkan sering terjadinya kerusakan pada *elbow* tepatnya di sistem pendingin kondensor air conditioner di kapal milik TNI Angkatan Laut?
2. Bagaimana cara mengatasi kerusakan yang terjadi pada *elbow* di sistem tersebut ?

1.3. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui dan mampu menganalisa penyebab terjadinya kerusakan *elbow* pada instalasi sistem pendingin kondensor air conditioner di kapal milik TNI Angkatan Laut.
2. Mengetahui efek geometrid dan lokasi *elbow* terhadap bentuk aliran yang berakibat terhadap kerusakan *elbow*.
3. Melakukan modifikasi bentuk maupun lokasi dan mensimulasikannya sehingga didapatkan bentuk dan lokasi yang paling optimum.
4. Melakukan memodifikasi ulang sistem yang ada, dengan hasil berupa keyplan dan 3D sistem.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Penelitian hanya sebatas fitting *elbow* yang sering mengalami kerusakan pada sistem pendingin kondensor air conditioner di kapal milik TNI Angkatan Laut.
2. Penelitian dilakukan pada kapal milik TNI Angkatan Laut.
3. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software Numeca Fine Open.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Korosi Erosi

Korosi adalah perusakan atau penurunan mutu dari material akibat bereaksi dengan lingkungan, dalam hal ini adalah interaksi secara kimiawi. Sedangkan penurunan mutu yang diakibatkan interaksi secara fisik bukan disebut korosi, namun biasa dikenal sebagai erosi dan keausan. Keausan umumnya didefinisikan sebagai kehilangan material secara progresif atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan sebagai suatu hasil pergerakan relatif antara permukaan tersebut dan permukaan lainnya. Keausan telah menjadi perhatian praktis sejak lama, tetapi hingga beberapa saat lamanya masih belum mendapatkan penjelasan ilmiah yang besar sebagaimana halnya pada mekanisme kerusakan akibat pembebanan tarik, impak, puntir atau fatigue. Hal ini disebabkan masih lebih mudah untuk mengganti komponen/part suatu sistem dibandingkan melakukan disain komponen dengan ketahanan/umur pakai (life) yang lama.

Pembahasan mekanisme keausan pada material berhubungan erat dengan gesekan (friction) dan pelumasan (lubrication). Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respons material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan mekanisme yang beragam.

Korosi erosi merupakan jenis korosi yang menggunakan proses mekanik melalui pergerakan relatif antara aliran gas atau cairan korosif dengan logam. Dalam hal ini perusakan karena erosi dan korosi saling mendukung. Logam yang telah terkena erosi akibat terjadi keausan dan menimbulkan bagian-bagian yang tajam dan kasar. Bagian-bagian inilah yang mudah terserang korosi dan bila ada gesekan akan menimbulkan abrasi lebih berat lagi dan seterusnya. Korosi erosi dapat juga disebabkan karena impingment corrosion, yaitu akibat fluida sangat deras dan dapat mengikis film pelindung pada logam yang mengakibatkan korosi pada logam.^[1] Korosi erosi dapat ditemukan pada sistem perpipaan (terutama pada bend, *elbow*, dan joint), valve, pompa, nozzle, heat exchangers, turbine blades dll.

2.2 Mekanisme Pembentukan Korosi Erosi

Proses terjadinya korosi erosi secara umum adalah melalui beberapa tahap berikut :

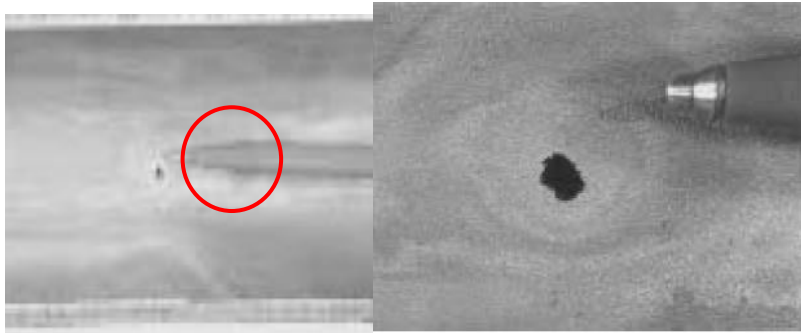
1. Pada tahap pertama terjadi serangan oleh aliran yang sangat deras yang nantinya akan berakibat pada mengikisnya lapisan pelindung logam.
2. Pada tahap kedua akan timbul bagian bagian yang kasar pada permukaan logam.
3. Pada tahap ketiga, laju korosi semakin meningkat, karena lapisan pelindung telah hilang. Logam yang berada di bawah lapisan pelindung mulai terkorosi, sehingga membentuk cekungan, kemudian terjadi pembentukan kembali lapisan pelindung dan logam menjadi tidak rata. Bila aliran terus mengalir,

maka akan terjadi serangan kembali oleh gelembung udara yang terbawa aliran. Serangan ini akan mengikis dan merusak lapisan pelindung yang baru saja terbentuk, rusaknya lapisan pelindung tersebut akan mengakibatkan serangan lebih lanjut pada logam yang lebih dalam sampai membentuk cekungan.^[2]

2.3 Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Korosi erosi

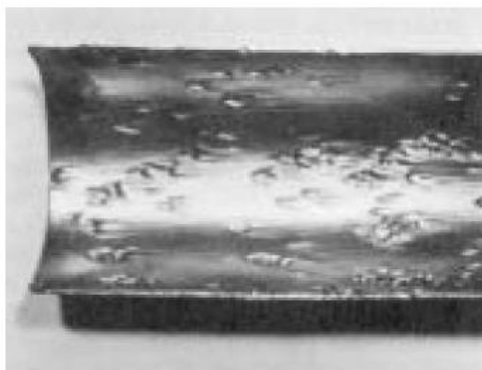
Kecepatan fluida sangat berpengaruh pada peristiwa erosi-korosi. Pada saat fluida diam atau kecepatan fluida sangat lambat, proses korosi akan sangat dominan. Peristiwa erosi-korosi amat ditentukan oleh kecepatan fluida, Korosi akan lebih dominan jika kecepatan fluida amat lambat, hal ini dikarenakan oleh lamanya waktu kontak, jika kecepatan fluida amat tinggi maka erosiilah yang akan lebih dominan.

Besarnya kecepatan fluida sangat berpengaruh terhadap bentuk kerusakan yang terjadi pada benda kerja. Pada kecepatan yang relatif rendah akan menyebabkan terjadinya korosi yang berbentuk *pitting* (Gambar 2.1).



Gambar 2.1. Potongan pipa stainless steel yang mengalami pitting

Sedangkan pada kecepatan tinggi, bentuk kerusakan yang terjadi pada permukaan bagian dalam pipa akan membentuk kerusakan *horseshoe*.



Gambar 2.2 Bentuk kerusakan horseshoe akibat kecepatan fluida yang tinggi

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Nityoga,2012) terkait pengaruh laju aliran terhadap laju korosi baja karbon, akan sedikit menjelaskan terkait pengaruh laju aliran terhadap laju korosi. Berikut hasil dari penelitian tersebut :

Tabel 2.1 Pengaruh kecepatan aliran terhadap laju korosi baja karbon API 5L X-52 pada lingkungan NaCl 3.5% dengan CO₂ pada pH 4.

| Kecepatan Aliran (RPM) | Rapat Arus Korosi/I_{cor} (l/Cm²) | Laju Korosi (mpy) |
|-----------------------------------|---|----------------------------------|
| 0 | 210.5 | 96.18 |
| 375 | 474.6 | 216.9 |
| 750 | 859.2 | 392.6 |
| 1500 | 1016 | 484.6 |
| 3000 | 1357 | 620.3 |

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa pengaruh kecepatan aliran sangat berbanding lurus dengan laju korosi yang terjadi. Jika dibandingkan antara laju korosi ketika kecepatan fluida sebesar 0 RPM berbeda jauh dengan laju korosi ketika fluida memiliki kecepatan 375 RPM. Hal tersebut jika dikaitkan dengan pengaruh laju putaran terhadap laju erosi, dimana laju aliran turbulen adalah meningkatkan transportasi massa sehingga laju korosi akan meningkat.

Sebuah kemungkinan yang dapat dijelaskan untuk hal ini adalah bahwa pada kecepatan rendah, meskipun partikel padat berhasil merusak lapisan pasif, tidak semua partikel padat berhasil menghapus lapisan tersebut, oleh sebab itu efek sinergis yang terjadi lebih tinggi dibandingkan erosi. Pada kecepatan yang lebih tinggi ada energi kinetik yang cukup untuk merusak material oleh impact partikel padat sehingga laju korosi-erosi yang terjadi lebih didominasi oleh aspek mekanik dari proses erosi.

Pada peristiwa korosi erosi dimana kerusakan yang terjadi oleh fluida satu fasa, dan laju korosi terakselerasi oleh meningkatnya turbulensi dan transfer massa yang diakibatkan oleh naiknya kecepatan, dikenal dengan *Flow-accelerated corrosion* (FAC). Pada erosi-korosi aliran fluida dapat merusak lapisan film pada permukaan material dengan gaya mekanik dari fasa kedua seperti padatan, gas, dll.. Mekanisme *Flow-accelerated corrosion* (FAC) dapat diketahui melalui kontur permukaan yang berpola dan memiliki arah pada polanya, disebabkan oleh aliran medianya tanpa adanya coakan akibat adanya deformasi.

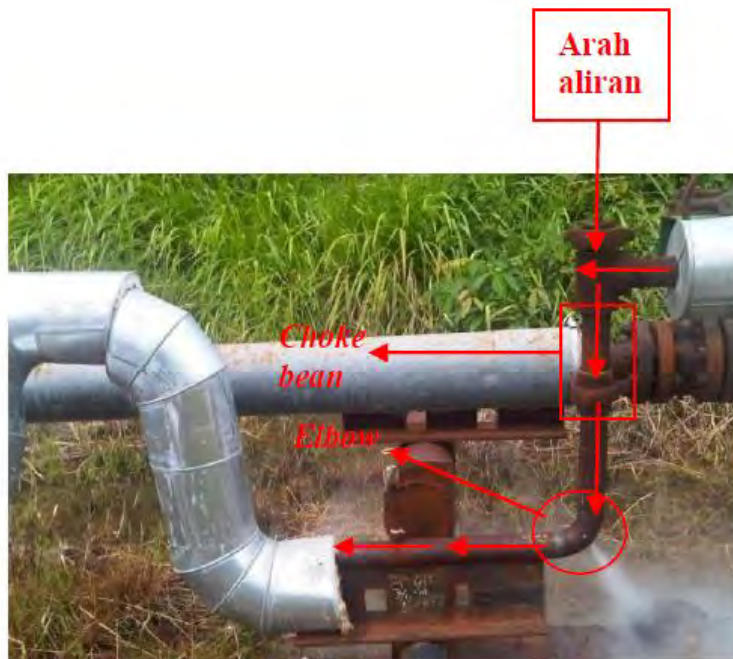
2.4 Penelitian Sebelumnya Terkait Korosi Erosi

Berdasarkan dari hasil penelitian yang sudah ada terkait pengaruh kecepatan aliran terhadap laju erosi dengan melakukan pemodelan CFD yang telah dilakukan oleh Abrorul Fuady R., MSK. Tony SU.,Eflita Yohana dengan judul “Analisa pengaruh jarak *choke bean* terhadap laju erosi aliran dua fasa *steam-solid* di dalam

elbow pada pipa vertical injector uap PT. Chevron Pasific Indonesia (CPI) menggunakan CFD” serta penelitian yang pernah dilakukan oleh Chen X dengan judul “*Application and experimental validation of a computational fluid dynamics (CFD) based erosion prediction model in elbow and plugged tees*” pada tahun 2004 diperoleh hasil sebagai berikut :

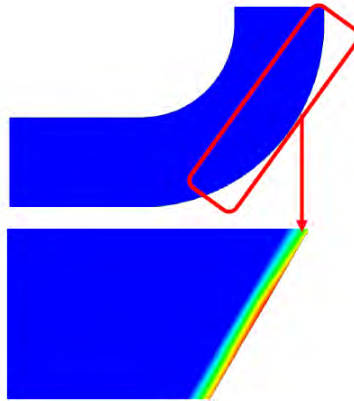
1. Untuk penelitian yang pertama hasil simulasi terdiri dari dua kasus yaitu hubungan antara jarak *choke bean* dengan *elbow* terhadap laju erosi serta pengaruh kecepatan steam terhadap laju erosi.

a. Simulasi pertama

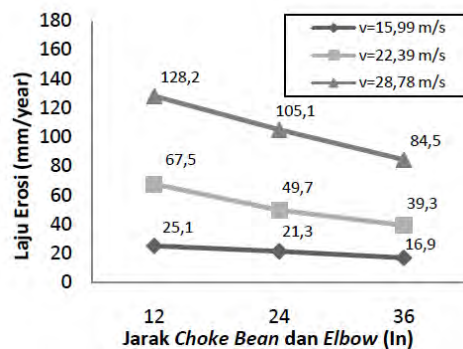


Gambar 2.3 Pipa injector uap milik PT. Chevron Pasific Indonesia (CPI) mengalami kebocoran di bagian elbow.

Untuk simulasi pertama terkait hubungan jarak *choke bean* dengan *elbow* terhadap laju erosi tertera pada gambar 2.3 yang menunjukkan bahwa erosi terjadi di outer *elbow* atau sisi luar bagian *elbow* . Sedangkan pada gambar 2.5 menunjukkan hubungan jarak *choke bean* dan *elbow* terhadap laju erosi. ^[5]



Gambar 2.4 Erosi terjadi pada outer elbow.

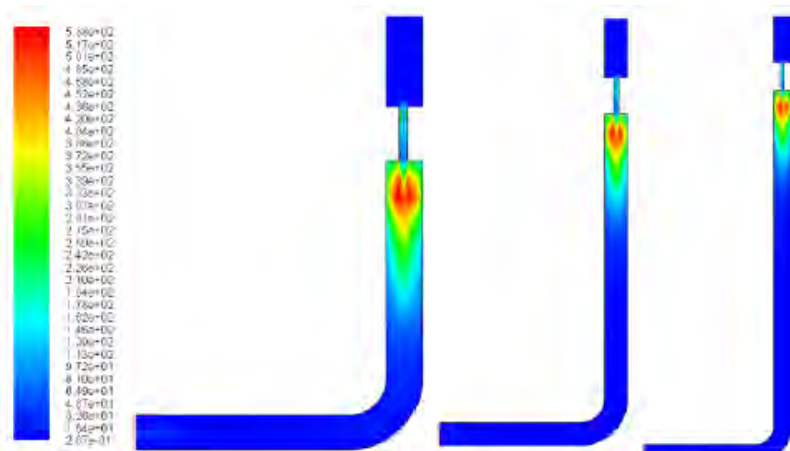


Gambar 2.5 Grafik hubungan jarak choke bean dan elbow terhadap laju erosi.

Gambar 2.5 mengilustrasikan hubungan antara jarak *choke bean* dengan *elbow* dan laju erosi berbanding terbalik. Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin panjang jarak antara *choke bean* dengan *elbow* maka laju erosi akan semakin turun. Pada saat fluida memasuki *choke bean* kecepatan menjadi tinggi karena adanya penyempitan penampang. Kecepatan fluida di *choke bean* yang tinggi menyebabkan terjadinya turbulensi aliran ketika fluida keluar dari *choke bean* seperti terlihat pada gambar 2.6. ^[5]

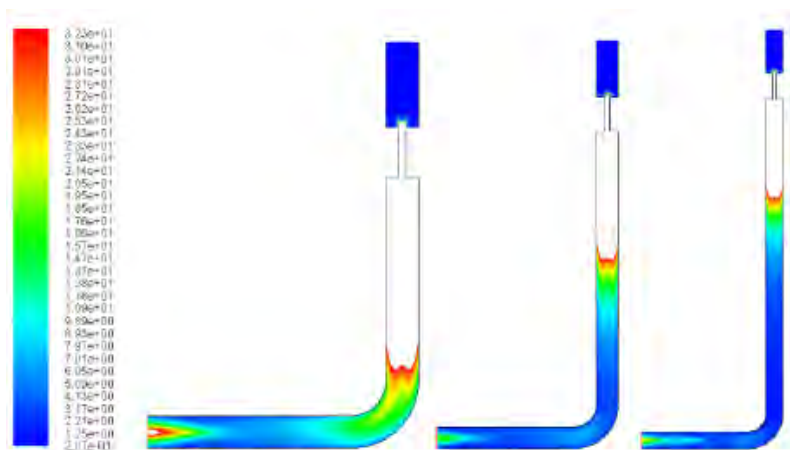


Gambar 2.6 Kontur turbulensi keluaran choke bean pada jarak 12 in (0.3048m).

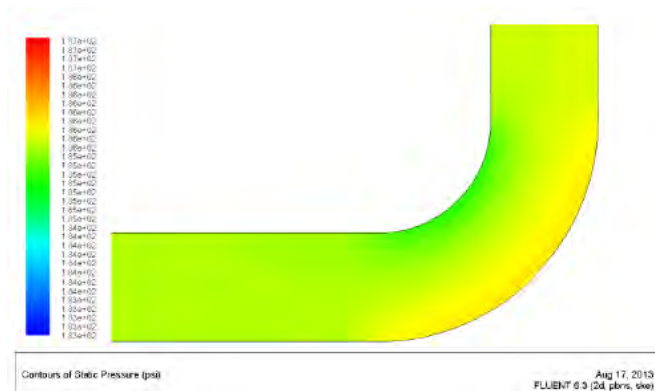


Gambar 2.7 Kontur turbulensi keluaran choke bean pada jarak 12 in (0.3048m), 24 in (0.6096 m), dan 36 in (0.9144 m).

Turbulensi aliran yang besar mempengaruhi laju erosi yang terjadi di *elbow*. Laju erosi menurun seiring dengan berkurangnya turbulensi aliran saat memasuki *elbow* karena jarak *choke bean* dan *elbow* yang menjauh seperti terlihat pada gambar 2.7. Jadi semakin jauh jarak *choke bean* dengan *elbow* maka turbulensi aliran saat memasuki *elbow* menjadi lebih kecil sehingga laju erosi menurun seperti terlihat pada gambar 2.8. Tekanan di *elbow* pada bagian inner dan outer *elbow* berbeda. Pada bagian outer memiliki tekanan yang lebih besar bila dibandingkan dengan bagian inner *elbow* seperti terlihat pada gambar 2.9. Kondisi tersebut terjadi karena adanya secondary flow. Secondary flow merupakan aliran yang berputar-putar. Tekanan di outer yang besar menghasilkan kecepatan yang kecil karena tekanan berbanding terbalik dengan kecepatan. Jadi dapat diambil kesimpulan bahwa erosi yang terjadi di *elbow* disebabkan oleh turbulensi dari aliran yang besar.^[5]



Gambar 2.8 Kontur turbulensi di area elbow dengan choke bean pada jarak 12 in (0.3048m), 24 in (0.6096 m), dan 36 in (0.9144 m).



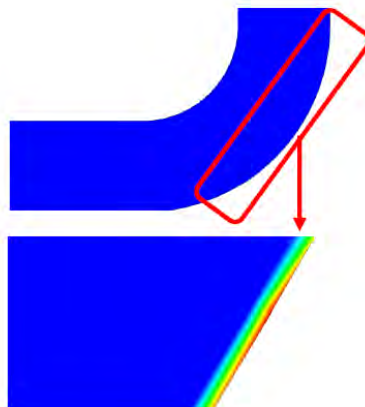
Gambar 2.9 Kontur tekanan statis di inner dan outer elbow.

b. Simulasi kedua

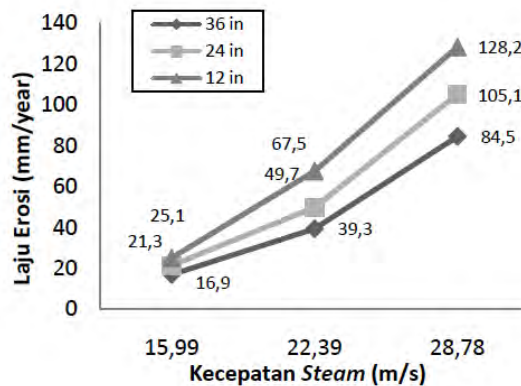
Pada simulasi kedua terkait hubungan antara kecepatan steam terhadap laju erosi dapat dilihat dari hasil simulasi yang telah dilakukan. Gambar dibawah ini akan menjelaskan keterkaitan antara kecepatan steam dan laju erosi. [5]



Gambar 2.10 Kontur laju erosi akibat kecepatan steam



Gambar 2.11 Erosi terjadi pada outer elbow.

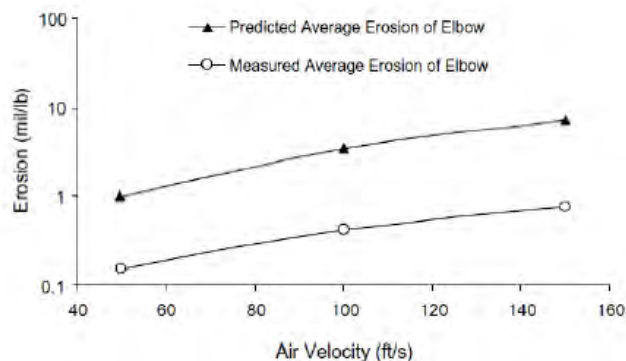


Gambar 2.12 Grafik hubungan antara kecepatan steam terhadap laju erosi.

Pada gambar 2.10 menunjukkan kontur laju erosi yang dihasilkan dari variasi kecepatan steam yang diterapkan pada simulasi kedua. Sedangkan pada gambar 2.11 memperlihatkan bahwa erosi terjadi pada outer *elbow* atau sisi luar bagian dari *elbow* sama halnya dengan erosi yang terjadi pada simulasi pertama. Gambar 2.12 mengilustrasikan hubungan antara kecepatan steam dan laju erosi berbanding lurus. Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan steam maka laju erosi yang dihasilkan semakin besar.

Saat kecepatan fluida cukup tinggi, maka kecepatan partikel akan mendekati kecepatan fluida. Peningkatan kecil pada kecepatan fluida dapat mengakibatkan peningkatan laju erosi yang cukup besar saat kecepatan partikel mendekati atau sama dengan kecepatan fluida.

2. Pada penelitian yang kedua yang telah dilakukan oleh X. Chen pada tahun 2004 terkait prediksi erosi pada bagian *elbow* dengan menggunakan CFD nantinya juga akan memperoleh data yang sama perihal hubungan antara kecepatan fluida dengan laju erosi. Untuk lebih jelasnya akan dijabarkan pada penjelasan dibawah ini.



Gambar 2.13 Grafik hubungan antara kecepatan fluida berbentuk udara terhadap laju erosi pada penelitian X. Chen.

Pada gambar 2.13 memperlihatkan trend grafik yang sama dengan kasus yang pertama pada simulasi yang kedua, akan tetapi pada penelitian ini fluida yang di gunakan adalah udara sedangkan pada penelitian yang pertama adalah berupa steam atau uap. Pada grafik diatas grafik yang berada dibawah adalah grafik yang diperoleh dari pengukuran secara langsung , sedangkan grafik yang atas adalah grafik dari hasil simulasi menggunakan CFD.

Dari kedua kasus semuanya menunjukkan bahwa daerah dengan intensitas erosi paling besar adalah pada bagian outer *elbow* atau sisi terluar bagian permukaan *elbow*.

2.5 Hukum Bernaulli

Dalam ilmu fisika kita mengetahui bahwasannya energy tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan tapi bisa dirubah dari bentuk satu ke bentuk yang lain, hal tersebut sesuai dengan hukum Termodinamika I. Total energy pada satu titik pada aliran steady akan memiliki total energy yang sama dengan titik yang lain yang berada dalam satu aliran yang sama, dengan syarat tidak adanya penambahan energy pada aliran fluida atau tidak adanya energy yang hilang di antara kedua titik tersebut. Konsep tersebut dapat dikenal dengan Hukum Bernaulli. Berikut ini merupakan bentuk persamaan dari Hukum Bernaulli.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2$$

Dimana :

P_1 = Tekanan pada titik 1 (Pa)

P_2 = Tekanan pada titik 2 (Pa)

V_1 = Kecepatan pada titik 1 (m/s)

V_2 = Kecepatan pada titik 2 (m/s)

Z_1 = Ketinggian titik 1 (m)

Z_2 = Ketinggian titik 2 (m)

γ = Berat jenis fluida (kg/m^3)

G = Gaya gravitasi (m/s^2)

Selama fluida mengalir melalui saluran pipa, total energy akan berkurang searah dengan arah aliran. Hilangnya energy secara umum ada dua tipe yang bisa disebut friction losses dan minor losses. Friction losses dan minor losses dapat direpresentasikan dalam bentuk “heads” dalam satuan meter atau feet. Sesuai dengan penjelasan diatas maka pengaruh head loss terhadap hukum kesetimbangan energy dapat di modifikasi menurut persamaan berikut ini.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + HL$$

Dimana :

HL = Head loss (m)/(feet)

2.6 Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida. Tujuan dari CFD adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan satu atau semua fenomena di atas (Widayatno, Utama KAP, 2011). Ada beberapa keuntungan dari penggunaan metode CFD yaitu:

1. Menekan biaya dan waktu dalam mendesain suatu produk, jika proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi tinggi.
2. Mempunyai kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan melalui eksperimen.
3. Mempunyai kemampuan untuk sistem studi di bawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan).

Code Computational Fluid Dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

1. Pre Processor

Tahapan ini merupakan tahapan awal ketika akan melakukan proses simulasi. Pada tahap ini terdiri dari penggambaran model serta pembuatan mesh yang sesuai. Penggambaran model dapat dilakukan di luar software simulasi atau dapat juga melakukan penggambaran model pada software simulasi tersebut. Pada tugas akhir ini model berupa *elbow* akan dilakukan penggambaran dengan menggunakan software Solid Works 2012. Setelah pemodelan telah dilakukan maka tahapan selanjutnya adalah melakukan proses mesh pada software Numeca Fine Open. Proses meshing bertujuan untuk membuat model agar terdiri dari beberapa susunan atau yang lazim disebut cell agar model dapat dijalankan dan dianalisa oleh solver Numeca Fine Open. Pada tahap meshing juga akan dilakukan penentuan batas batas model yang akan dilakukan pengujian.

2. Solver Manager

Merupakan tahapan utama dari simulasi dengan CFD, yaitu dengan melakukan iterasi atau perhitungan terhadap kondisi-kondisi batas yang telah ditentukan dalam tahapan *preprocessing*. Dalam proses ini data-data mengenai karakteristik kondisi batas dan material atau jenis fluida yang digunakan dimasukkan ke dalam program.

3. *Post Processor*

Postprocessing adalah langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengolah dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa data, gambar, grafik ataupun animasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode berbasis simulasi, dimana akan dilakukan pengujian dengan menggunakan software sesuai spesifikasi dari sistem yang sudah ada yang kemudian hasil dari simulasi akan di gunakan sebagai acuan untuk pemecahan masalah yang ada. Metodologi penulisan skripsi ini mencakup semua kegiatan yang akan dilaksanakan untuk memecahkan masalah atau melakukan proses analisa terhadap permasalahan tugas akhir. Untuk lebih jelasnya akan dijabarkan sebagai berikut :

3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Penulisan tugas akhir ini dimulai dengan mengidentifikasi dan merumuskan masalah mengenai pengerjaan yang akan dilakukan dan juga batasan masalahnya. Hal ini dilakukan untuk menyederhanakan masalah sehingga memudahkan pengerjaan dan penyelesaian penulisan tugas akhir ini.

3.2 Studi Literatur

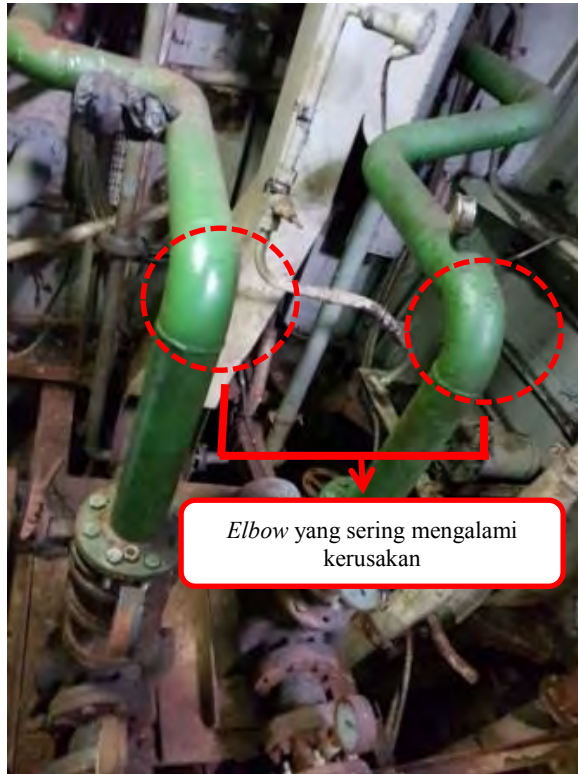
Pengumpulan bahan pustaka yang menunjang kegiatan penelitian ini, yaitu mengenai Korosi erosi dan proses terjadinya, pengaruh laju aliran terhadap terjadinya Korosi erosi, penelitian sebelumnya yang membahas tentang korosi erosi, dan *Computational Fluid Dynamic (CFD)* yang bersumber dari:

- a. Buku
- b. Artikel
- c. Paper
- d. Tugas akhir
- e. Internet

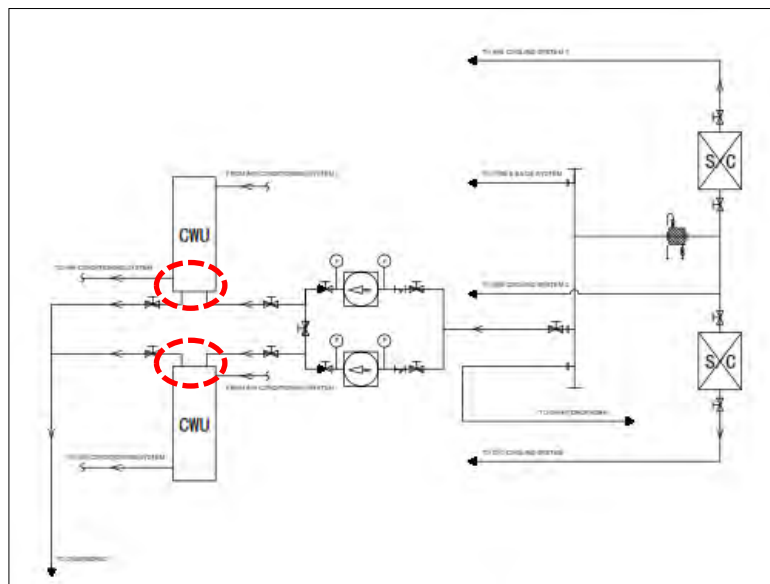
3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data-data pendukung untuk membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir adalah terkait spesifikasi dari sistem yang mengalami permasalahan seperti spesifikasi pompa, diameter pipa, diameter dan radius *elbow*, serta jarak pompa ke *elbow*.

Berdasarkan data yang telah diperoleh dilapangan, spesifikasi sistem pendingin kondensor yang mengalami kerusakan adalah terlampir dibawah ini.



Gambar 3.1 Elbow pada sistem kondensor air conditioner kapal TNI Angkatan Laut



Gambar 3.2 Gambar P&ID sistem Pendingin kondensor AC

Gambar 3.1 merupakan *elbow* yang sering mengalami kerusakan yang telah dilakukan perbaikan. Pada gambar 3.2 adalah gambar *Key Plan* sistem

pendingin kondensor *air conditioner* di kapal milik TNI Angkatan Laut. Sistem pendingin kondensor tersebut menggunakan media air laut untuk mendinginkan kondensor. Letak permasalahan terletak pada sisi discharge pompa yang mau menuju kondensor atau dalam hal ini disebut CWU (*Chilled Water Unit*).

Spesifikasi teknis sistem pendingin akan dijasikan pada tabel 3.1 dan tabel 3.2. Pada spesifikasi sistem yang telah terlampir akan di jelaskan terkait spesifikasi pompa pendingin, dimensi serta lokasi pipa.

Tabel 3.1 Spesifikasi pipa

| <i>Spesifikasi Pipa</i> | |
|------------------------------|--------------------------|
| <i>Nominal Pipe Size</i> | <i>2 ½ In</i> |
| <i>Diameter Luar</i> | <i>3 In (76.3mm)</i> |
| <i>Ketebalan Dinding</i> | <i>0.276 in (7.0 mm)</i> |
| <i>Diameter Dalam</i> | <i>62.3 mm</i> |
| <i>Schedule</i> | <i>80</i> |
| <i>(Standart JIS G 3456)</i> | |
| <i>Radius Elbow</i> | <i>114 mm</i> |
| <i>(Standart ANSI B16.9)</i> | |
| <i>Tinggi</i> | <i>500 mm</i> |

Tabel 3.2 Data pompa pendingin kondensor di kapal TNI AL

| <i>Spesifikasi Pompa</i> | |
|-----------------------------|-------------------------|
| <i>Merk</i> | <i>SihiZLKCD 65-12.</i> |
| <i>Kapasitas (lt/menit)</i> | <i>740</i> |
| <i>Kapasitas (m3/h)</i> | <i>44.4</i> |
| <i>Head (m)</i> | <i>Max 90</i> |
| <i>RPM</i> | <i>3600</i> |
| <i>Motor</i> | |
| <i>Merk</i> | <i>AEG Hamburg</i> |
| | <i>4.4 KW/380 V AC/</i> |
| <i>Daya</i> | <i>50 HZ</i> |

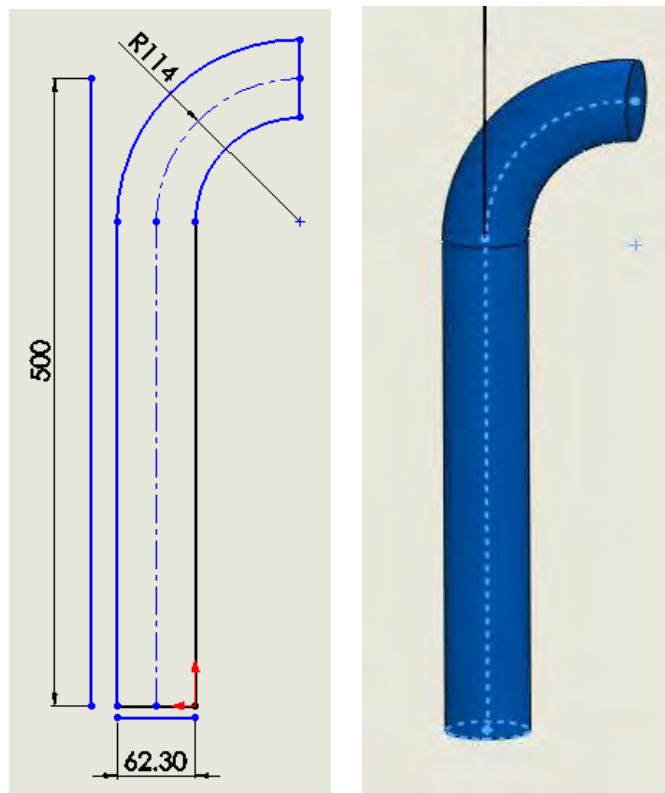
3.4 Penggambaran model

Sebelum memasuki tahap simulasi perlu dilakukan pemodelan benda uji yang akan dilakukan simulasi. Pemodelan kali akan ini akan dilakukan dengan menggunakan software Solid Works 2012. Model yang akan dilakukan simulasi pada tugas akhir ini terdiri dari tiga

model. Model terdiri dari satu model standart dan 2 model yang telah dimodifikasi. Seluruh dimensi model mengacu pada dimensi sistem yang sudah ada.

3.4.1 Model Sistem standart

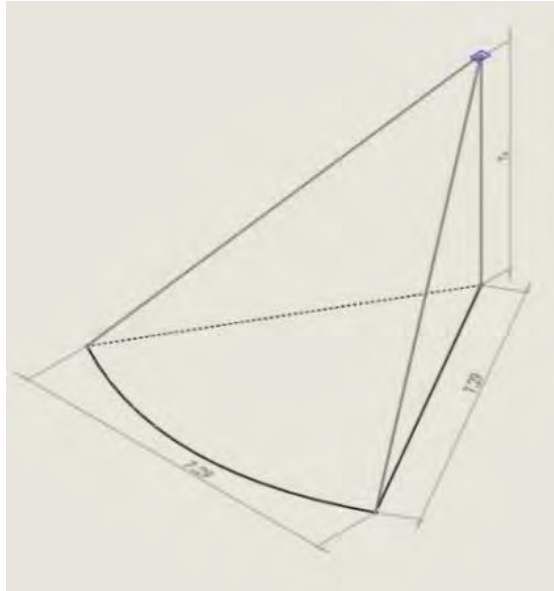
Model standart adalah model yang tidak mengalami modifikasi pada bagian eksternal maupun internal model. Model ini dibuat dengan tujuan untuk mensimulasikan sistem pada kondisi normal untuk mengetahui penyebab permasalahan yang terjadi.



Gambar 3.3 Model elbow standart

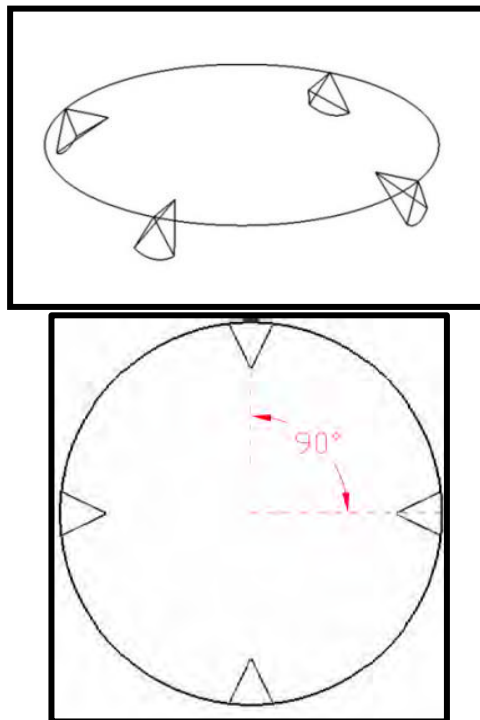
3.4.2 Model Sistem modifikasi 1

Model sistem dengan modifikasi yang pertama dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan pada model sistem standart. Modifikasi model yang dilakukan adalah dengan menambahkan alat pengacau aliran atau yang sering dikenal dengan *Vortex generator (VG)*.

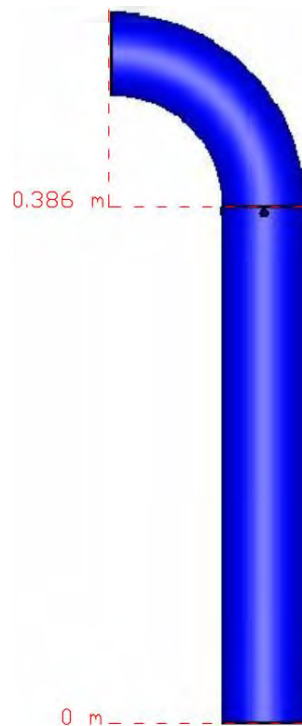


Gambar 3.4 Model Vortex generator

Model dan dimensi *vortex generator* mengacu pada penelitian yang pernah dilakukan oleh Lijun Wang yang juga mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Panaras, A.G



Gambar 3.5 Pemasangan vortex generator pada pipa



Gambar 3.6 Pemasangan vortex generator pada posisi inlet elbow

Penempatan *Vortex generator* pada modifikasi yang pertama akan diletakkan pada inlet elbow, atau berjarak 0.386 m dari titik nol sistem. Jumlah *vortex generator* yang terpasang pada sistem berjumlah empat buah *vortex generator* pada sekeliling diameter pipa yang terpisah masing masing pada sudut 90^0 .

3.4.3 Model Sistem modifikasi 2

Sama halnya dengan modifikasi model yang pertama, pada modifikasi model yang kedua modifikasi sistem dilakukan dengan menambahkan *vortex generator* pada sistem. Namun pada modifikasi yang kedua letak *vortex generator* divariasi dengan menambahkan jarak peletakan *vortex generator* sebesar $0.1R$ mengikuti variable radius elbow dengan jumlah *vortex generator* sama dengan modifikasi pertama.



Gambar 3.7 Pemasangan vortex generator pada posisi $0.1R$ dari inlet elbow

3.5 Simulasi

Pada tahap pelaksanaan percobaan hal yang dilakukan adalah melakukan simulasi untuk mengetahui kondisi aliran yang ada pada sistem. Hasil pengujian nantinya akan diketahui tekanan serta laju aliran pada sistem. Simulasi pada tugas akhir ini akan dilakukan dengan menggunakan software yaitu Numeca Fine Open.

Sesuai dengan bahasan pada tinjauan pustaka terkait *CFD (Computational Fluid Dynamic)* adabeberapa tahapan dalam simulasi CFD mulai dari *pre prossesor*, *solver* dan *post prossesor*. Tahap pre prossesor sebagian telah dilakukan dengan pembuatan model yang dilakukan pada Solid Works 2012, selanjutnya akan dilakukan tahap lanjutan dari *pre prossesor* adalah penggenerasian mesh pada model yang dilakukan melalui Numeca Fine Open.

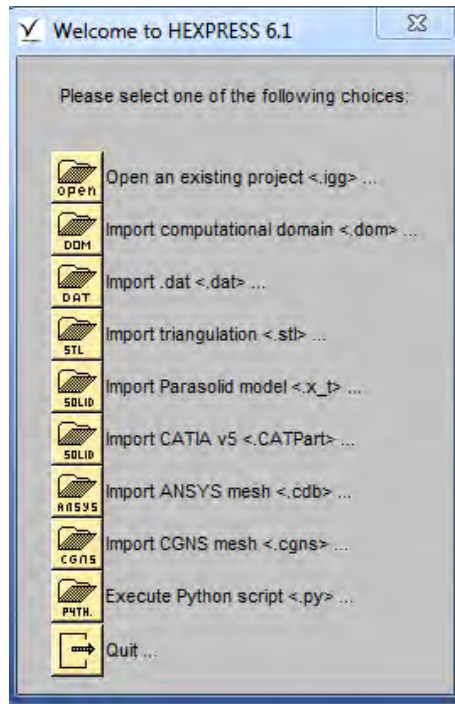
3.5.1 Pengolahan model pada Numeca Fine Open

Setelah dilakukan pemodelan pada sistem yang akan disimulasikan, maka selanjutnya akan masuk pada tahap pengolahan model pada *software* Numeca Fine Open. Tahapa pengolahan model pada Fine Open juga disebut sebagai tahapan *pre prossesor* setelah melalui proses penggambaran model pada Solid

Works 2012. Pada tahap *pre processor* kali ini akan dilakukan proses penggenerasian mesh pada model.

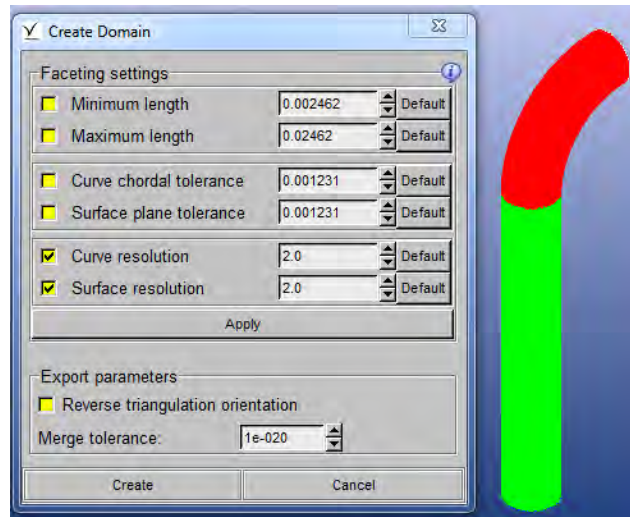
1. Penggenerasian Mesh

Setelah model dibuat di software Solid Works, maka model masuk dalam tahapan penggenerasian mesh pada software Numeca Fine Open. Penggenerasian mesh pada Fine Open menggunakan menu Hexpress.



Gambar 3.8 Import model pada Hexpress

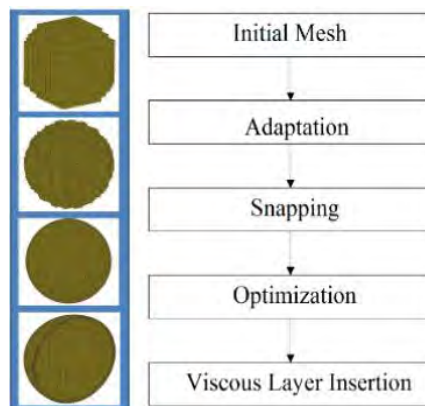
Pada menu Hexpress terdapat beberapa pilihan sub menu yang berfungsi untuk memasukkan model yang akan di simulasikan dengan berbagai macam tipe atau bentuk model sesuai format 3D Modeling yang kita miliki.



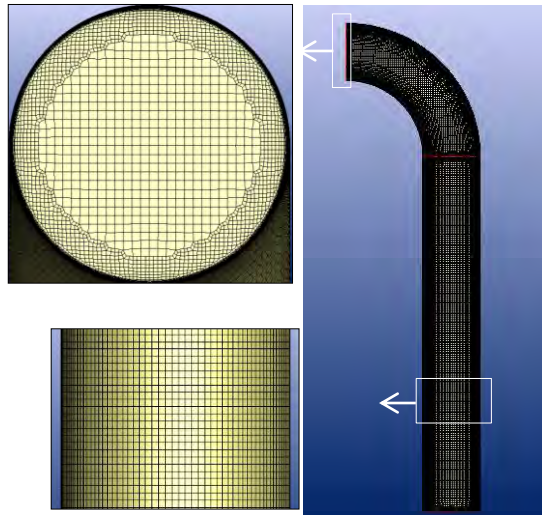
Gambar 3.9 Pembentukan Domain

Setelah pembentukan domain dari model maka dapat dilakukan pembuatan mesh dari model yang dibuat. Pembuatan mesh ini menggunakan fitur Mesh Wizard dari Hexpress.

Dalam proses yang ada di Mesh Wizard akan melalui beberapa tahapan yaitu *Initial Mesh*, *Adaptation*, *Snapping*, *Optimization* dan *Viscous Layer*.



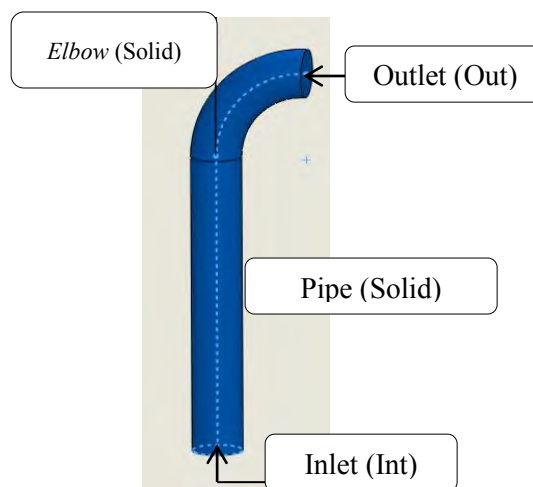
Gambar 3.10 Proses Mesh Generation



Gambar 3.11 Hasil dari Mesh Generation pada model

Dari proses meshing yang telah dilalui maka didapatkan hasil mesh model seperti Gambar 4.4 dengan total jumlah mesh 1,058,234. Tahapan akhir dalam proses Penggenerasian Mesh adalah melakukan pengecekan hasil meshing pada model. Pengecekan dapat dilakukan dengan menggunakan menu Mesh Quality. Hasil mesh harus dapat dipastikan tidak mengandung 3 jenis cell yaitu *negative cell*, *twisted cell* dan *concave cell*, artinya ketiganya harus bernilai 0.

Setelah penggenerasian mesh selesai dilakukan maka langkah terakhir sebelum akhirnya model dilakukan simulasi adalah melakukan penentuan *Boundary Condition* terhadap model yang akan kita simulasikan. Hasil dari boundary condition adalah berupa batasan serta posisi inlet dan outlet pada sistem.



Gambar 3.12 Batas pada model

3.5.2 Simulasi *CFD* NUMECA Fine Open

Dalam proses simulasi atau masuk pada proses *solver* pada simulasi *CFD* langkah yang penting dilakukan adalah penentuan parameter fluida yang mengalir dalam sistem mulai dari bentuk fluida hingga bentuk atau model aliran yang akan disimulasikan. Dalam simulasi pada tugas akhir ini fluida yang digunakan adalah Water Liquid (H_2O) atau lebih spesifik yaitu air laut. Pada Tabel 3.3 akan dijelaskan terkait karakteristik kondisi model :

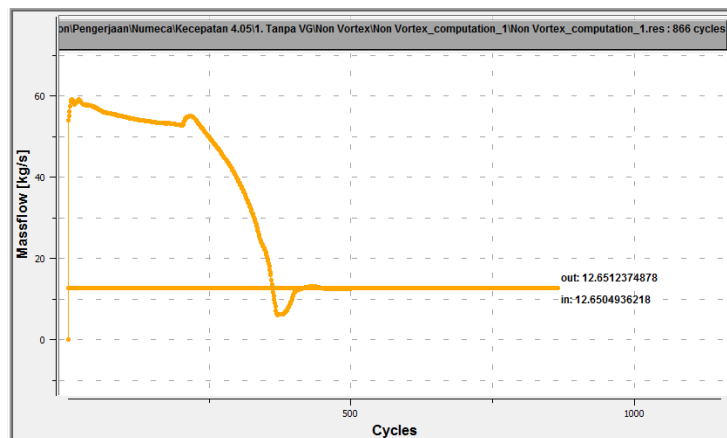
Tabel 3.3 Data karakteristik kondisi model

Compute form : Inlet

| | |
|----------------------|------------|
| Density (Kg/m^3) | 1025 |
| Length (m) | 0.7355 |
| Pressure (pascal) | 400000 |
| Temperature (k) | 308.15 |
| Velocity (m/s) | 4.05 |
| Viscosity (kg/ms) | 0.00000105 |

Data karakteristik model dapat diketahui dari spesifikasi peralatan serta hasil perhitungan sistem. Berdasarkan spesifikasi sistem kita dapat mengetahui tekanan kerja serta kecepatan aliran didalam sistem.

Proses simulasi divalidasi dengan melihat nilai dari mass flow yang masuk dan keluar. Syarat sebuah simulasi berhasil dalam Numeca adalah nilai *error massflow* kurang dari 0.5%.



Gambar 3.13 Kondisi massflow pada posisi inlet dan outlet

3.6 Analisa Data Percobaan

Dari hasil solver yang telah dilakukan pada Numeca Fine Open, maka langkah selanjutnya adalah tahapan *post prossesor* atau tahap hasil simulasi. Pada tahap ini, data-data yang diperoleh nantinya akan dianalisa sesuai teori yang ada. Dari hasil analisa yang sudah dilakukan diharapkan nantinya akan

diketahui penyebab dari permasalahan yang terjadi. Hasil analisa akan digunakan sebagai rekomendasi pemecahan masalah yang ada.

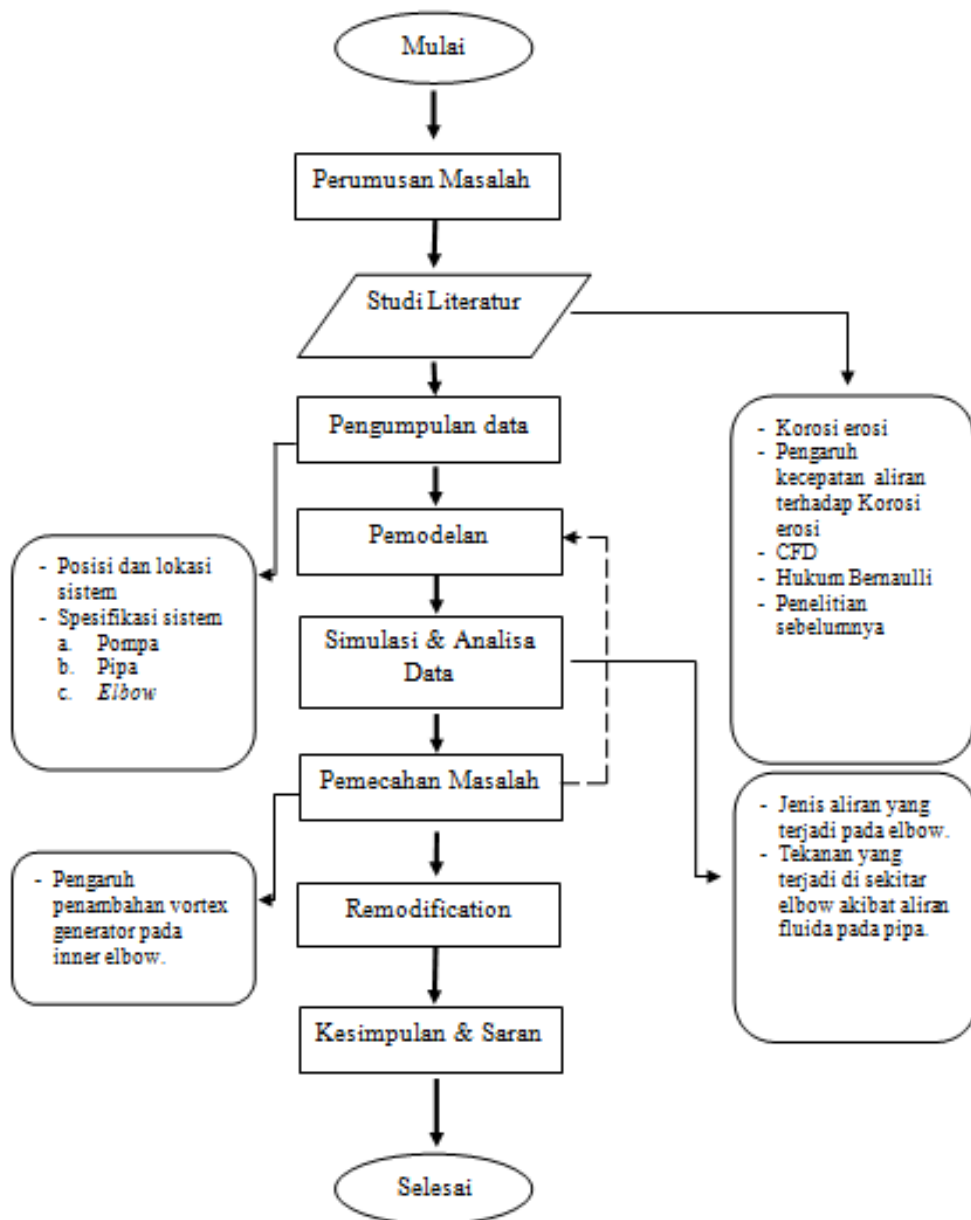
3.7 Pemecahan masalah

Pada tahap ini, berdasarkan hasil analisa data yang telah dilakukan maka akan dicari solusi yang bisa ditawarkan untuk mengatasi masalah kerusakan sistem yang ada.

3.8 Kesimpulan

Penarikan kesimpulan dilakukan setelah percobaan dilakukan. Kesimpulan ini diharapkan dapat menjawab tujuan dari percobaan yang telah dilakukan. Kemudian diberikan pula saran sesuai fakta yang ada. Dengan harapan dapat memperbaiki penelitian serupa selanjutnya.

3.9 Flow Chart Tugas Akhir



Gambar 3.14. Diagram Alur Pengerjaan Tugas Akhir

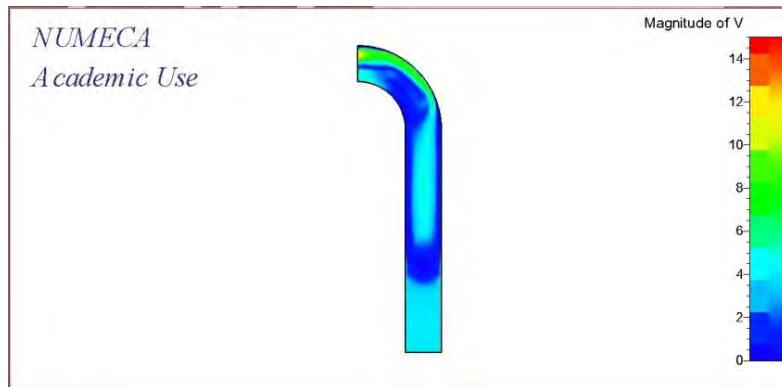
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

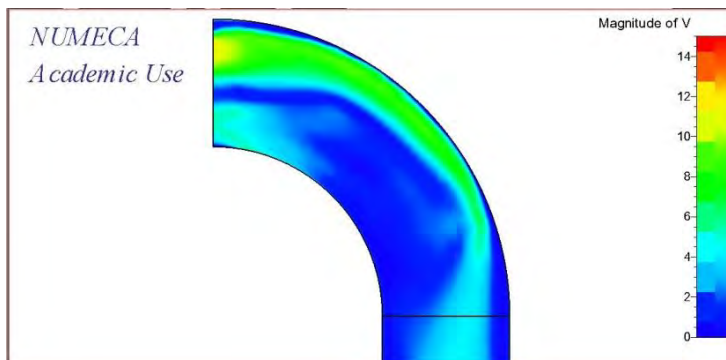
Hasil yang diperoleh dari proses simulasi nantinya akan berupa kecepatan aliran dan tekanan pada sistem. Dari hasil tersebut akan ditinjau lebih lanjut berdasarkan teori yang sudah ada terkait fenomena korosi erosi pada pipa. Berikut ini merupakan hasil simulasi pada model standart dari sistem yang ada.

4.1 Hasil Simulasi Model *Elbow* Standart



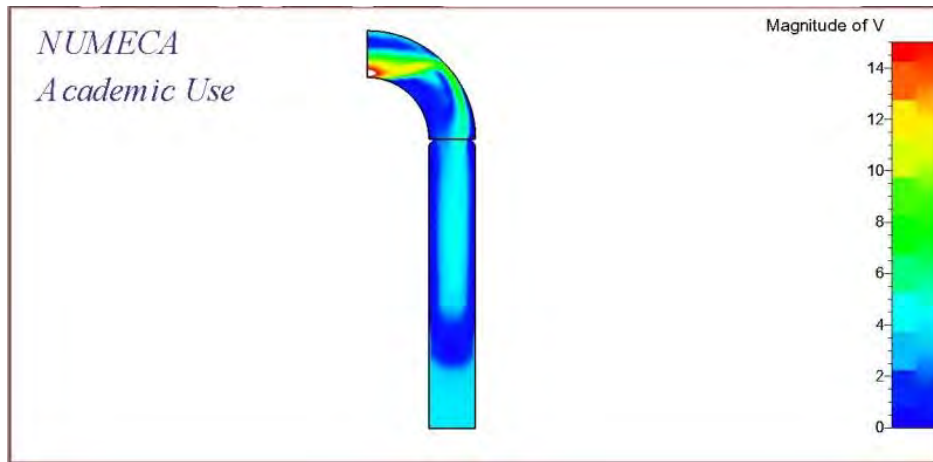
Gambar 4.1 Hasil simulasi kecepatan aliran pada model standart

Dari Gambar 4.1 kita dapat mengetahui bahwa kontur kecepatan aliran dengan nilai paling tinggi terjadi dibagian *elbow* jika dibandingkan dengan kondisi kecepatan di bagian yang lain dalam model tersebut. Dari kecepatan sistem yang awalnya sekitar 4.05 m/s maka pada bagian *elbow* meningkat menjadi sekitar 6 - 8 m/s. Kondisi tersebut sesuai dengan teori yang sudah ada yang menjelaskan bahwa fenomena korosi erosi umumnya sering terjadi pada bagian atau daerah sekitar instalasi pipa yang salah satunya adalah bagian bend pipe atau *elbow* pada fitting pipa. Dari Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 dapat diketahui lebih detail terkait kecepatan aliran pada bagian *elbow* pipa.

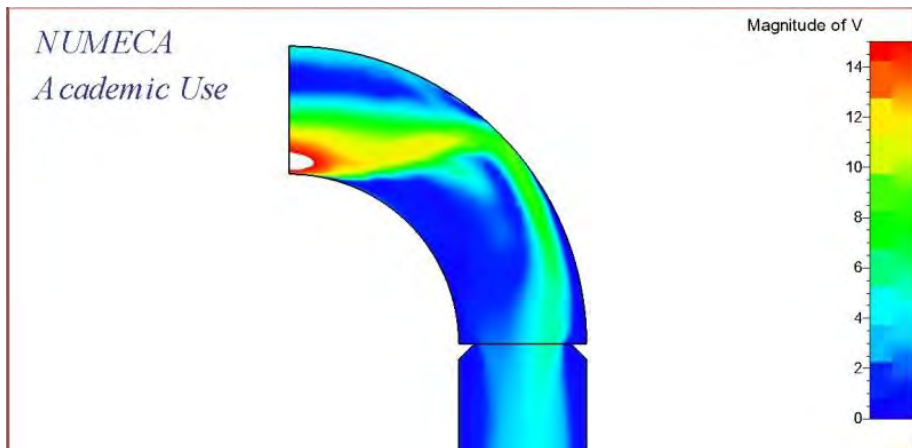


Gambar 4.2 Kontur kecepatan aliran spesifik pada model elbow standart

4.2.1 Hasil modifikasi *Elbow* pertama



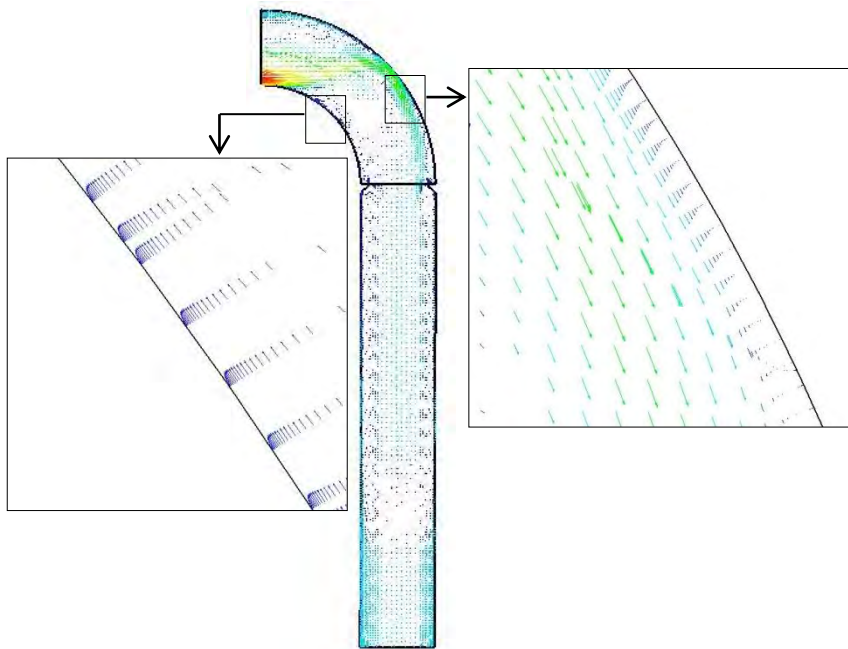
Gambar 4.5 Hasil simulasi berupa kecepatan aliran pada model dengan penambahan vortex generator pada posisi inlet radius elbow



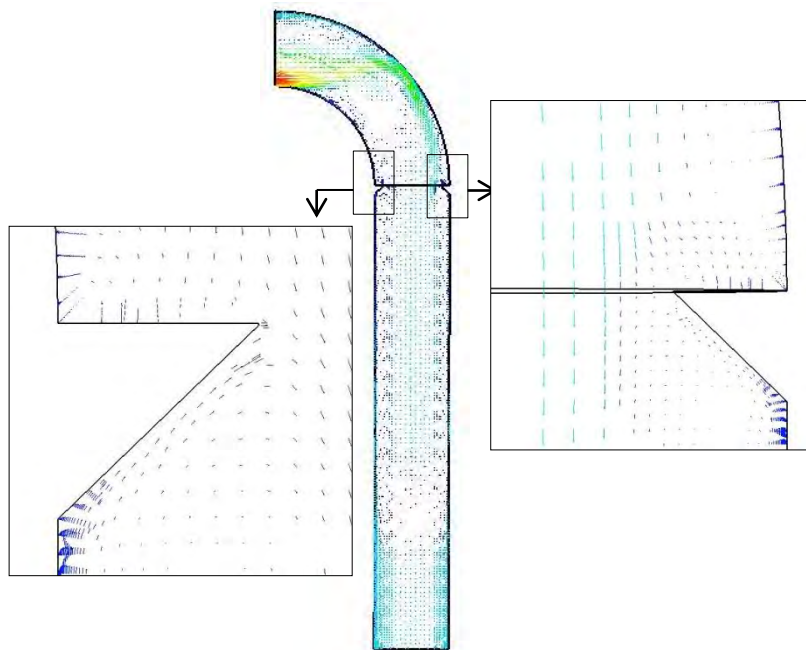
Gambar 4.6 Kontur kecepatan aliran spesifik pada elbow dengan penambahan Vortex generator pada posisi inlet radius elbow

Hasil dari penambahan *vortex generator* dapat dilihat dari hasil simulasi berupa perubahan kecepatan aliran pada sisi *outer elbow*.

Dengan hasil tersebut dapat dibuktikan bahwa penambahan *vortex generator* mampu mengurangi atau mereduksi area terdampak korosi erosi, dari daerah awal *outer elbow* yang sebagian besar terdampak korosi erosi maka dengan penambahan *vortex generator* area terdampak korosi erosi semakin berkurang meskipun masih dalam kecepatan aliran yang sama ketika mengenai bagian *outer elbow*.

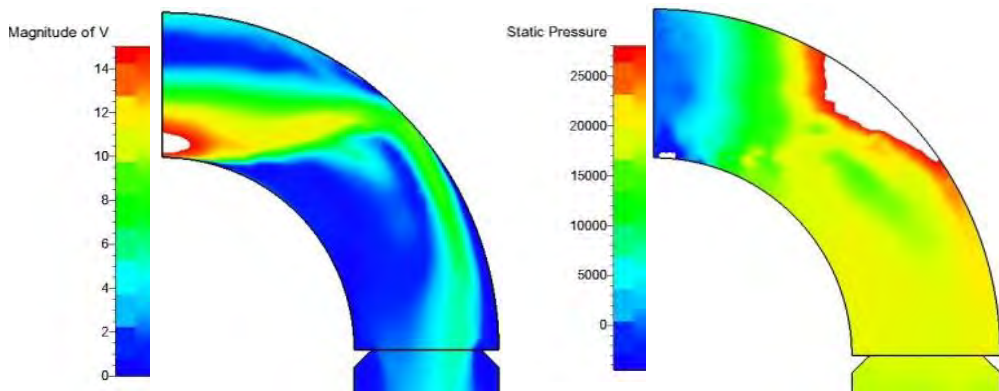


Gambar 4.7 Kontur vektor pada bagian Inner dan outer elbow



Gambar 4.8 Kontur vector pada bagian vortex generator

Dari gambar 4.7 dan gambar 4.8 kita dapat mengetahui bentuk vektor aliran yang terjadi di bagian *elbow* dan vortex. Dari bentuk vector tersebut kita dapat mengetahui area turbulensi dari sistem tersebut. Seperti terlihat pada gambar bahwasannya dengan penambahan *vortex generator* pada inlet *elbow* belum mampu mengatasi aliran balik pada area outer *elbow* namun hanya mampu mengurangi area terdampak korosi erosi atau area berkecepatan tinggi. Sedangkan untuk penambahan *vortex generator* resiko yang akan dialami adalah akan terjadi penambahan turbulensi aliran setelah melewati *vortex generator* tersebut namun masih dalam kategori yang relatif lebih kecil.

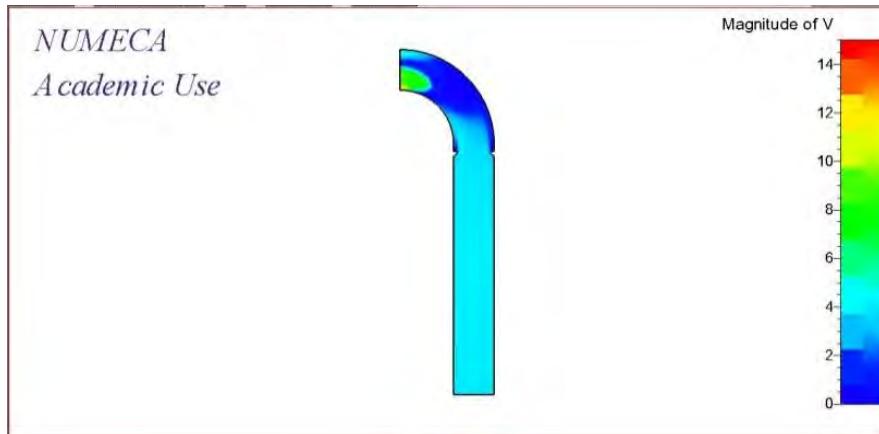


Gambar 4.9 Perbandingan kecepatan aliran dan tekanan pada elbow modifikasi 1

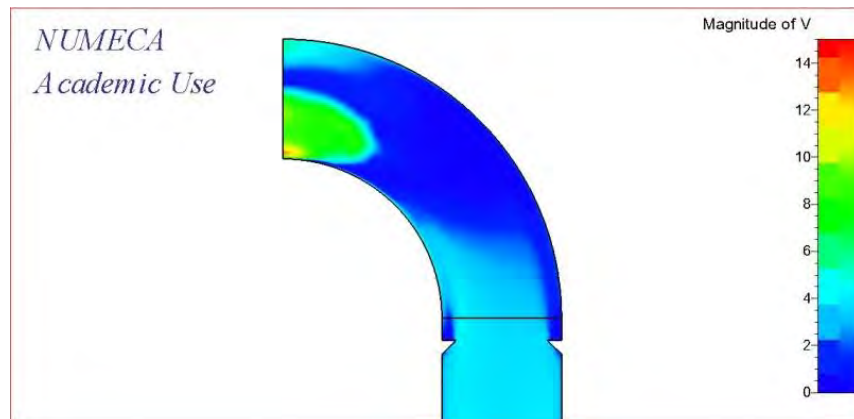
Pada gambar 4.9 dapat diketahui perbandingan kecepatan aliran dan tekanan pada *elbow* akibat penambahan *vortex generator*. Outer *elbow* juga mengalami peningkatan tekanan jika dibandingkan dengan *elbow* pada kondisi normal, hal tersebut terbukti dengan kontur warna pada *elbow* yang melebihi level kontur tekanan.

4.2.2 Hasil modifikasi Elbow kedua

Pada simulasi kedua dalam penambahan *Vortex generator* akan dilakukan simulasi dengan penambahan *Vortex generator* pada jarak yang berbeda yaitu terdapat penambahan jarak sebesar $0.1R$ dari jarak sebelumnya atau pada posisi R atau inlet *elbow*.

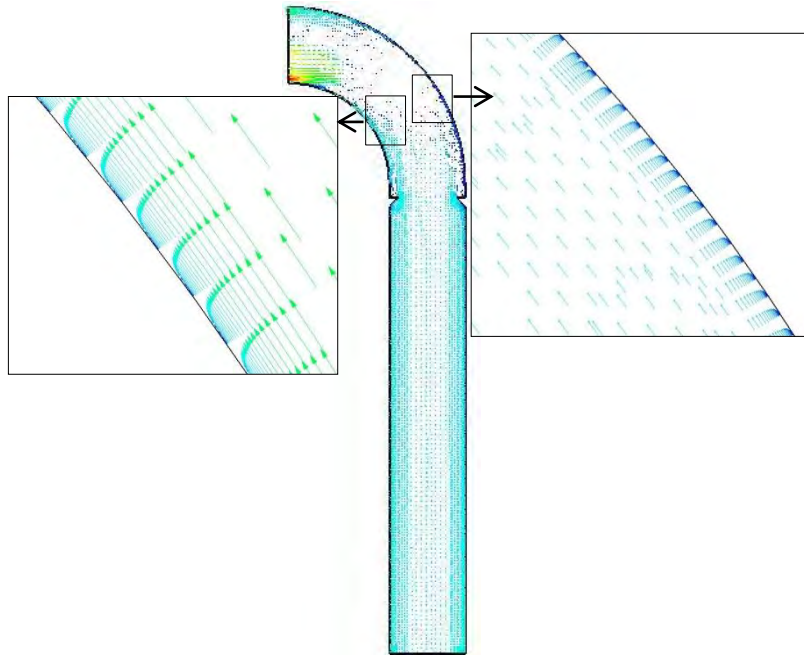


Gambar 4.10 Hasil simulasi berupa kecepatan aliran pada model dengan penambahan vortex generator pada posisi inlet radius elbow + 0.1R

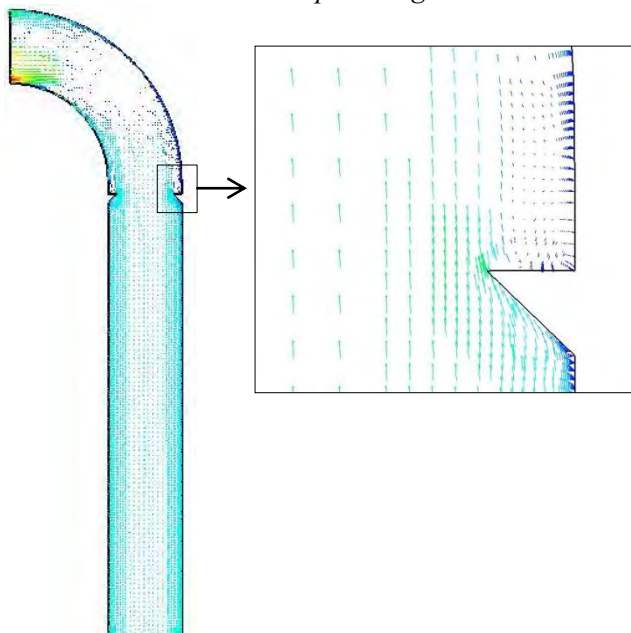


Gambar 4.11 Kontur kecepatan aliran spesifik pada elbow dengan penambahan Vortex generator pada posisi inlet radius elbow + 0.1R

Pada modifikasi *elbow* kedua dapat diketahui bahwa kecepatan aliran pada outer *elbow* juga dapat direduksi dengan penambahan *vortex generator* dengan adanya penambahan jarak 0.1 R dari inlet *elbow*.

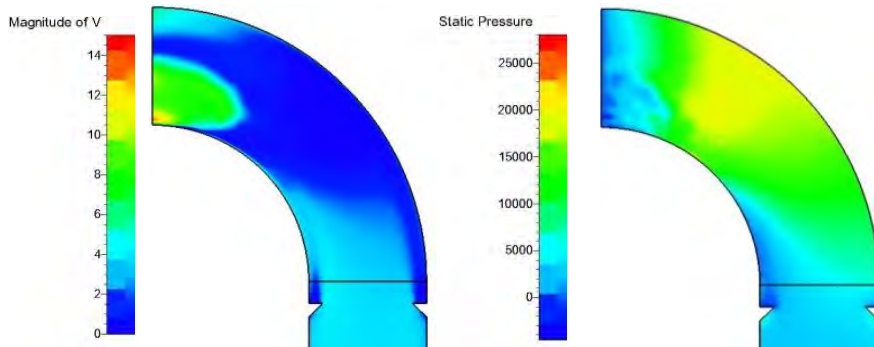


Gambar 4.12 Kontur vektor pada bagian Inner dan outer elbow



Gambar 4.13 Kontur vektor pada bagian Vortex generator

Penambahan *vortex generator* pada jarak $0.1R$ dari inlet *elbow* cenderung memiliki vector aliran yang lebih streamline jika dibandingkan dengan kondisi pipa normal dan penambahan *vortex generator* pada inlet *elbow*.



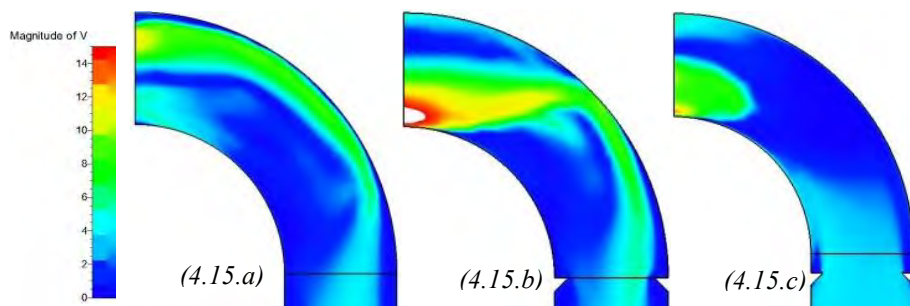
Gambar 4.14 Perbandingan kecepatan aliran dan tekanan pada elbow modifikasi 2

Perbandingan kontur kecepatan aliran dan tekanan pada *elbow* modifikasi yang kedua menunjukkan perbandingan yang sesuai bahwa tekanan dan kecepatan aliran adalah berbanding terbalik. Pada outer *elbow* dengan kecepatan yang rendah akibat di reduksi oleh adanya *vortex generator* cenderung memiliki tekanan yang tinggi jika dibandingkan dengan bagian inner *elbow* yang memang memiliki tekanan relative lebih kecil jika dibandingkan dengan bagian outer *elbow*, hal tersebut dikarenakan pada bagian inner *elbow* kondisi kecepatan aliran relative lebih besar jika dibandingkan dengan outer *elbow*.

4.2.3 Hasil perbandingan modifikasi pada *elbow*

Perubahan jarak penempatan *vortex generator* dimaksudkan untuk mencari letak *vortex generator* yang paling efektif untuk diterapkan pada sistem sehingga permasalahan korosi erosi pada sistem tersebut bisa di reduksi keberadaannya.

Pada kontur aliran dibawah ini akan dijelaskan atau dibandingkan model *elbow* pada kondisi normal dan *elbow* yang telah dimodifikasi, dari perbandingan tersebut dapat diketahui peletakan *elbow* yang paling efektif untuk menyelesaikan permasalahan korosi erosi pada sistem.



Gambar 4.15 Kontur kecepatan aliran pada 3 model elbow

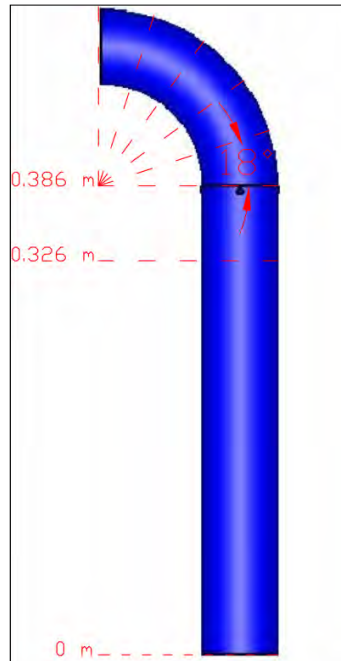
Dari gambar diatas kita dapat mengetahui kontur kecepatan aliran pada tiga model *elbow*. Pada gambar 4.15.a adalah *elbow* pada kondisi normal, gambar 4.15.b adalah *elbow* dengan modifikasi *vortex generator* yang

diletakkan pada inlet *elbow*, dan gambar 4.15 c adalah *elbow* dengan modifikasi menggunakan *vortex generator* pada penambahan jarak 0.1 R dari modifikasi pertama.

Pada gambar 4.15.a kecenderungan kecepatan aliran tinggi pada outer *elbow* memiliki nilai kecepatan aliran antara 6 - 8 m/s. Pada gambar 4.15.b atau pada modifikasi yang kedua area terdampak korosi erosi dapat dikurangi namun dengan kecenderungan kecepatan aliran yang tetap pada kondisi semula. Pada modifikasi yang ketiga atau pada gambar 4.15.c area dengan kecepatan aliran tinggi pada *elbow* dapat benar benar diatasi.



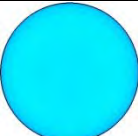

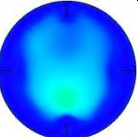
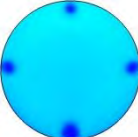
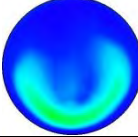
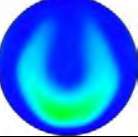

Pada analisa selanjutnya akan diperlihatkan kontur kecepatan aliran pada potongan model secara melintang berdasarkan jarak dan posisi sudut yang telah diatur. Untuk jarak potongan yang pertama terletak pada kondisi kecepatan aliran sebelum memasuki fitting *elbow*. Untuk potongan yang lain akan dilakukan pada area *elbow* dengan ketentuan pusat sumbu putar potongan terletak tepat pada radius *elbow* yaitu sebesar 114 mm (0.114 m) dengan besaran sudut putar sebesar 18^0 hingga mencapai sudut putar sebesar 90^0 atau tepat pada sisi outlet pada model. Untuk lebih spesifiknya berikut ini merupakan penjelasan posisi pada tiap tiap potongan.

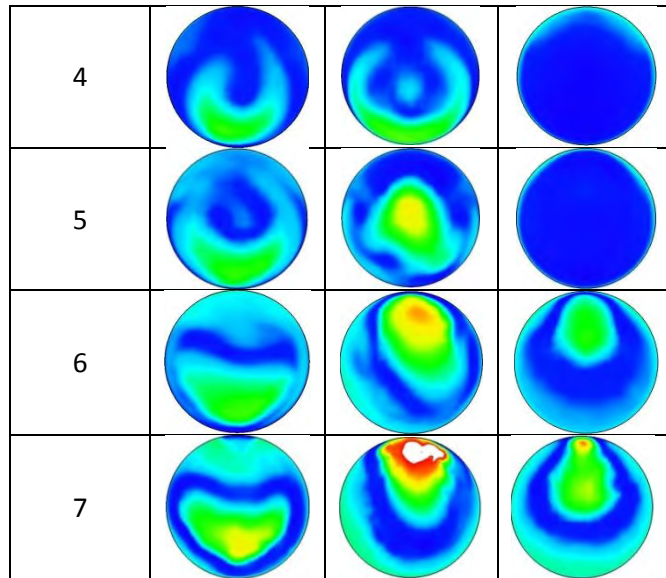
- Potongan 1 = 326 mm (0.326 m) dari sisi inlet model atau 0 m model.
- Potongan 2 = Pada pusat radius *elbow* dengan sudut putar 0^0
- Potongan 3 = Pada pusat radius *elbow* dengan sudut putar 18^0
- Potongan 4 = Pada pusat radius *elbow* dengan sudut putar 36^0
- Potongan 5 = Pada pusat radius *elbow* dengan sudut putar 54^0
- Potongan 6 = Pada pusat radius *elbow* dengan sudut putar 72^0
- Potongan 7 = Pada pusat radius *elbow* dengan sudut putar 90^0



Gambar 4.16 Perencanaan potongan pada model elbow

Potongan pada model dimaksudkan untuk mengetahui kontur perubahan kecepatan secara spesifik pada bagian *elbow*. Hasil potongan kontur kecepatan akan dibandingkan dengan tiga model *elbow* yang telah dilakukan simulasi.

| Potongan | Kontur potongan | | |
|----------|---|---|--|
| | Normal | VG 1 | VG 2 |
| 1 |  |  |  |
| 2 |  |  |  |
| 3 |  |  |  |

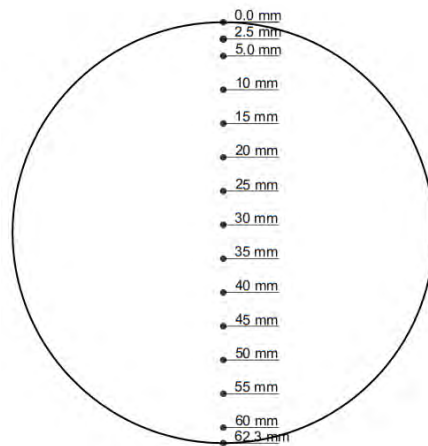


Gambar 4.17 Kontur kecepatan aliran pada masing masing potongan elbow pada 3 model elbow

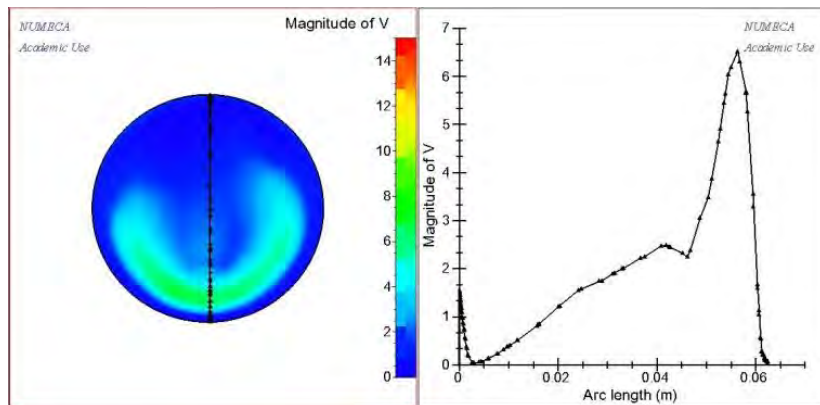
Dari gambar 4.17 dapat diketahui kontur kecepatan aliran pada tujuh potongan *elbow* dengan tiga model variasi *elbow* yang berbeda. Pada gambar 4.15 sebenarnya telah diketahui bahwasannya penempatan *Vortex generator (VG)* yang paling efektif untuk mengatasi permasalahan korosi erosi pada sistem tersebut adalah jika VG ditempatkan pada modifikasi *elbow* yang ketiga.

Area kritis erosi kerosi dari hasil simulasi berada pada potongan 3,4, dan 5 pada model standart. Jika dibandingkan dari ketiga kondisi model maka pada potongan 3,4, dan 5 nampak jelas perubahan kecepatan aliran khususnya di sisi kritis erosi korosi pada inner *elbow*.

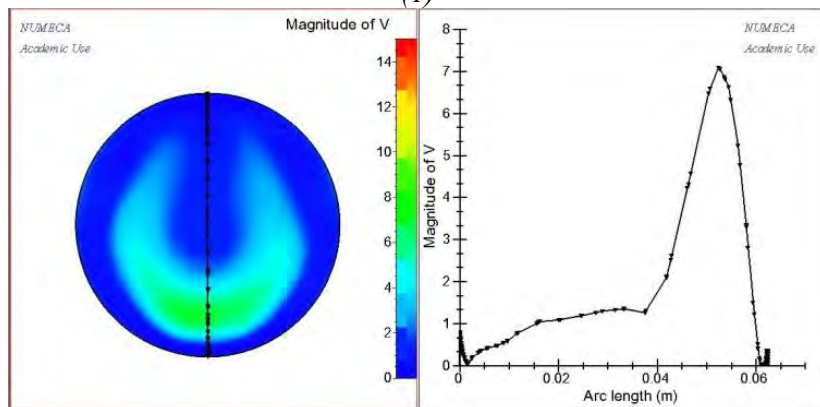
Perubahan kecepatan aliran pada sisi kritis akan lebih diperjelas dengan analisa berupa grafik kecepatan aliran pada potongan tersebut. Pada potongan akan ditentukan titik titik untuk mengetahui kondisi kecepatan pada titik tersebut.



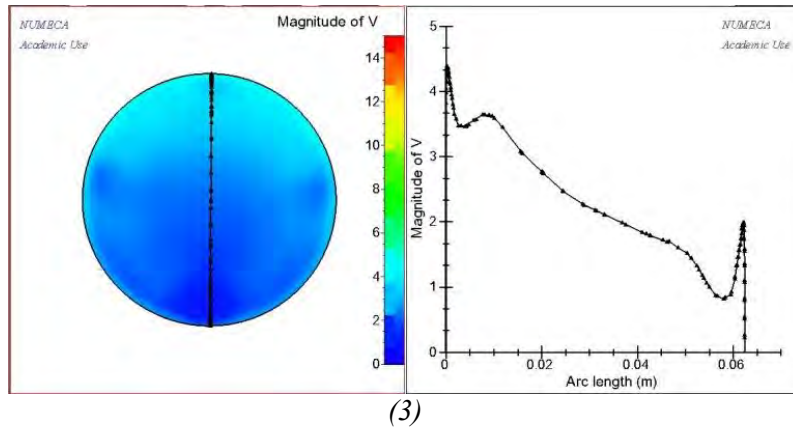
Gambar 4.18 Titik – titik kecepatan aliran pada potongan elbow



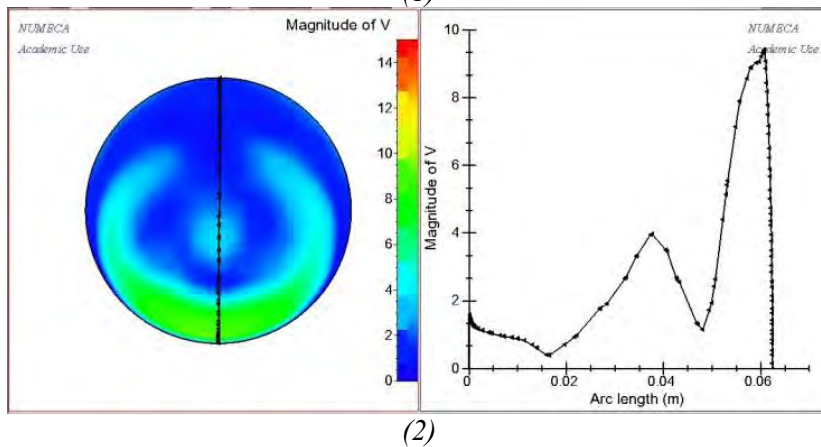
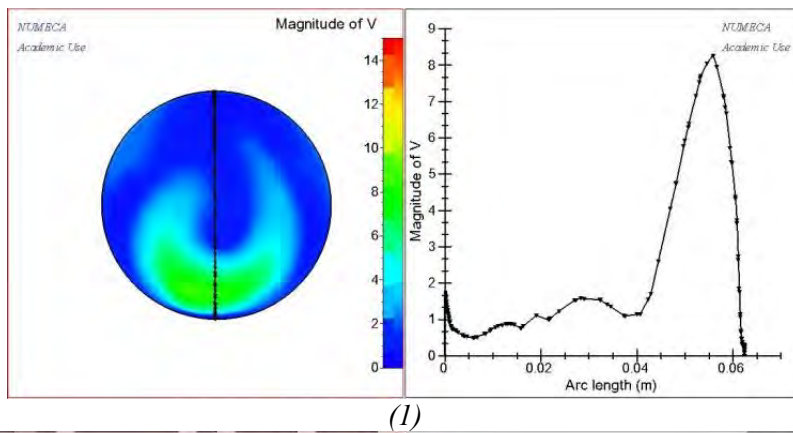
(1)

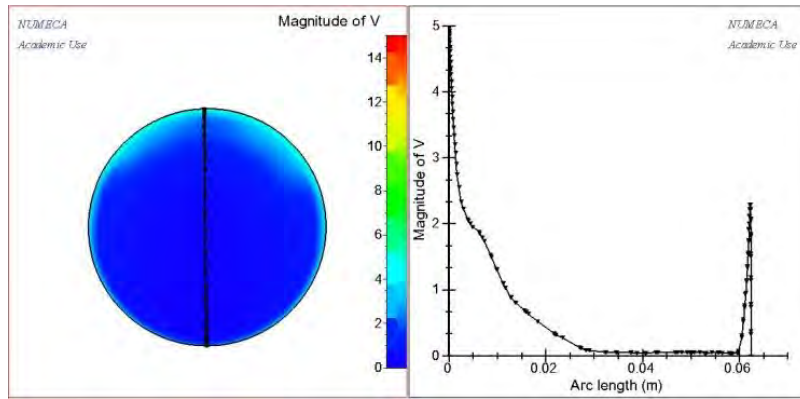


(2)



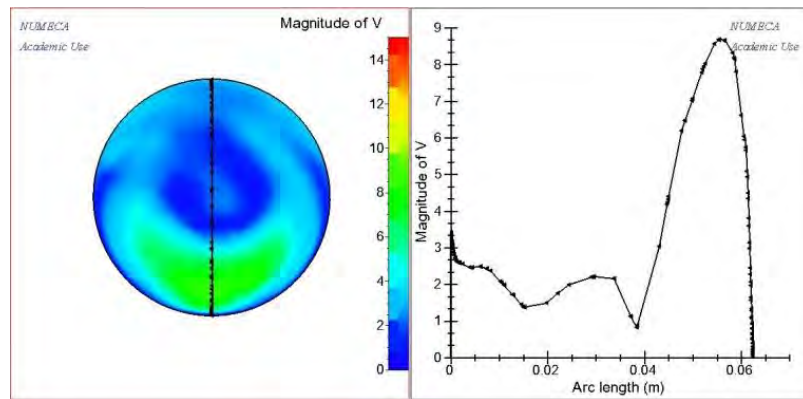
Gambar 4.19 Kecepatan aliran pada tiga model elbow pada potongan ke-3



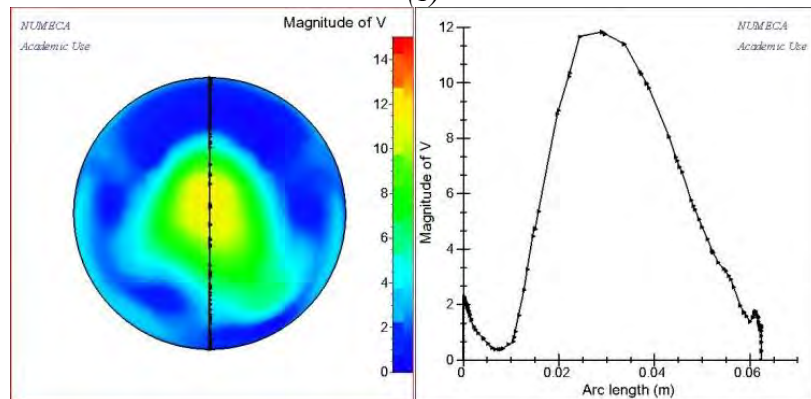


(3)

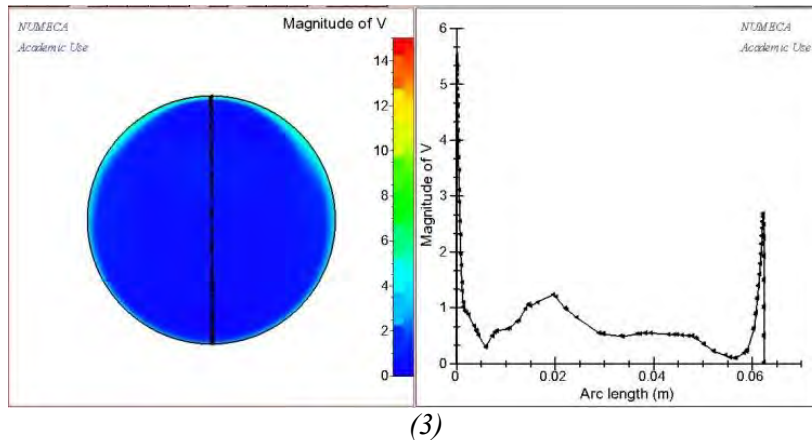
Gambar 4.20 Kecepatan aliran pada tiga model elbow pada potongan ke-4



(1)



(2)



Gambar 4.21 Kecepatan aliran pada tiga model elbow pada potongan ke-5

Pada gambar 4.19 sampai gambar 4.21 menunjukkan grafik kecepatan aliran pada potongan *elbow* tepatnya pada potongan tiga, empat dan lima. Masing masing gambar terdiri dari tiga model *elbow* yaitu *elbow* standart⁽¹⁾, *elbow* dengan modifikasi yang pertama⁽²⁾ (Penambahan VG pada *inlet elbow*) dan *elbow* pada modifikasi yang ke-dua⁽³⁾ (Penambahan VG pada penambahan jarak 0.1 R dari *inlet elbow*).

Grafik kecepatan aliran akan menunjukkan perubahan kecepatan aliran pada masing masing potongan yang sama pada model *elbow* yang berbeda yang sering terdampak korosi erosi.

Dari kontur kecepatan aliran pada potongan *elbow* memperlihatkan potongan dengan area terdampak korosi erosi adalah pada titik potongan 0.055 mm hingga 0.0623 mm atau diameter bagian luar *elbow*.

Dari gambar grafik diatas telah menunjukkan penurunan kecepatan aliran pada titik potong 0.055 mm sampai 0.0623 mm yang paling optimum terdapat pada model kedua *elbow*. Dalam hal ini dapat disimpulkan jika memang model ke-dua *elbow* merupakan model yang paling efektif digunakan untuk mengurangi fenomena korosi erosi pada sistem tersebut.

4.2.4 Pengaruh penambahan *Vortex generator*

Pada penambahan *Vortex generator* tentunya akan berdampak pada penambahan kekasaran relative pada sistem. Untuk itu perlu dilakukan perhitungan terhadap nilai dari losses akibat penambahan *Vortex generator*.

Berdasarkan hukum bernaulli terkait kesetimbangan energi dan pengaruhnya terhadap kondisi internal aliran tertutup yang dapat menyebabkan friction loss, berikut ini merupakan perhitungan head loss akibat penambahan *vortex generator* pada sistem.

1. Nilai Losses untuk kondisi pipa normal

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + HL$$

Dimana :

ΔP_1 = Pressure ratio

= 19596.736328 Pa

(Nilai pressure ratio diperoleh dari hasil simulasi pada NUMECA Fine Open)

V_1 = Rata-rata kecepatan aliran pada sisi inlet

= 4.05 m/s

V_2 = Rata-rata kecepatan aliran pada sisi outlet

= 5.4331436 m/s

Z_1 = Ketinggian pada sisi inlet

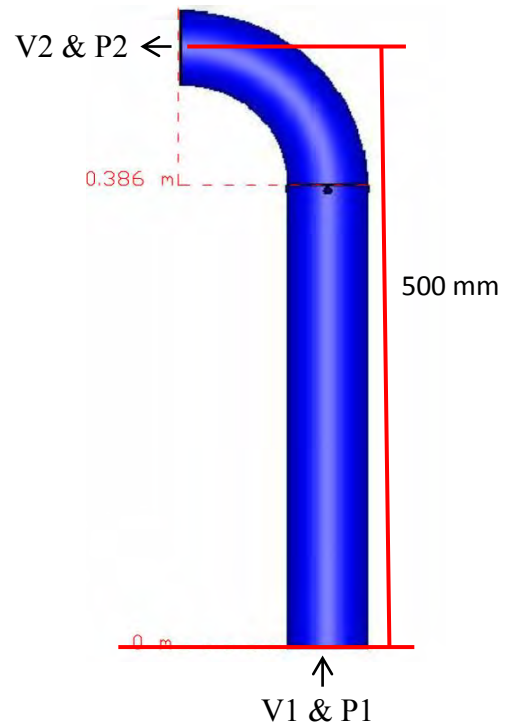
= 0 m

Z_2 = Ketinggian pada sisi inlet

= 0.5 m

ρ = 1025 kg/m³

G = 9.81 m/s²



$$HL = \left(\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \right)$$

$$HL = \left(\left(\frac{P_1 - P_2}{\gamma} \right) + \left(\frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \right) + (z_1 - z_2) \right)$$

$$HL = \left(\left(\frac{19596.7363}{10055.25} \right) + \left(\frac{(4.05)^2 - (5.4331436)^2}{2 \times 9.81} \right) + (0 - 0.5) \right)$$

$$HL = 0.7796942 \text{ m}$$

2. Nilai Losses untuk kondisi pipa dengan penambahan *vortex generator*

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + HL$$

Dimana :

ΔP_1 = Pressure ratio

$$= 39537.3125 \text{ Pa}$$

(Nilai pressure ratio diperoleh dari hasil simulasi pada NUMECA Fine Open)

V_1 = Rata-rata kecepatan aliran pada sisi inlet

$$= 4.05 \text{ m/s}$$

V_2 = Rata-rata kecepatan aliran pada sisi outlet

$$= 5.464360821 \text{ m/s}$$

Z_1 = Ketinggian pada sisi inlet

$$= 0 \text{ m}$$

Z_2 = Ketinggian pada sisi inlet

$$= 0.5 \text{ m}$$

ρ = 1025 kg/m^3

G = 9.81 m/s^2

$$HL = \left(\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \right)$$

$$HL = \left(\left(\frac{P_1 - P_2}{\gamma} \right) + \left(\frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \right) + (z_1 - z_2) \right)$$

$$HL = \left(\left(\frac{39537.3125}{10055.25} \right) + \left(\frac{(4.05)^2 - (5.464360821)^2}{2 \times 9.81} \right) + (0 - 0.5) \right)$$

$$HL = 2.7454386 \text{ m}$$

Selisih nilai head loss pipa normal dan pipa tanpa *vortex generator*

$HL = HL \text{ Pipa VG} - HL \text{ Pipa Normal}$

$$= 2.7454386 - 0.7796942$$

$$= 1.9657444 \text{ m}$$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa yang telah dilakukan dengan tujuan akhir berupa modifikasi sistem untuk menanggulangi permasalahan kerusakan *elbow* , maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwasannya kerusakan *elbow* terjadi karena adanya kecepatan aliran berlebih pada sistem yang mengenai bagian *outer elbow* yang sering disebut dengan fenomena korosi erosi. Karena kecepatan yang tinggi maka aliran akan mengikis lapisan pelindung pipa sehingga akan timbul bagian bagian yang tajam yang sangat berpengaruh pada timbulnya korosi.
2. Penambahan *Vortex generator* atau pengacau aliran terbukti dapat mengurangi kecepatan aliran berlebih pada bagian terdampak korosi erosi.
3. Peletakan *Vortex generator* memiliki hasil yang paling efisien untuk menyelesaikan permasalahan erosi korosi pada pipa vertikal ketika ditempatkan pada jarak $0.1 R$ sebelum radius *elbow* dengan asumsi R adalah besarnya radius pada *elbow*.

5.2 Saran

1. Perlu kajian lebih lanjut terhadap pemasangan *vortex generator* untuk mengurangi korosi erosi dengan berbasis percobaan.
2. Diperlukan studi yang menganalisa bentuk *vortex generator* sehingga dapat dicapai bentuk yang paling optimal.
3. Diperlukan studi yang menganalisa pengaruh jumlah *vortex generator* untuk mengurangi korosi erosi pada sistem tersebut.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

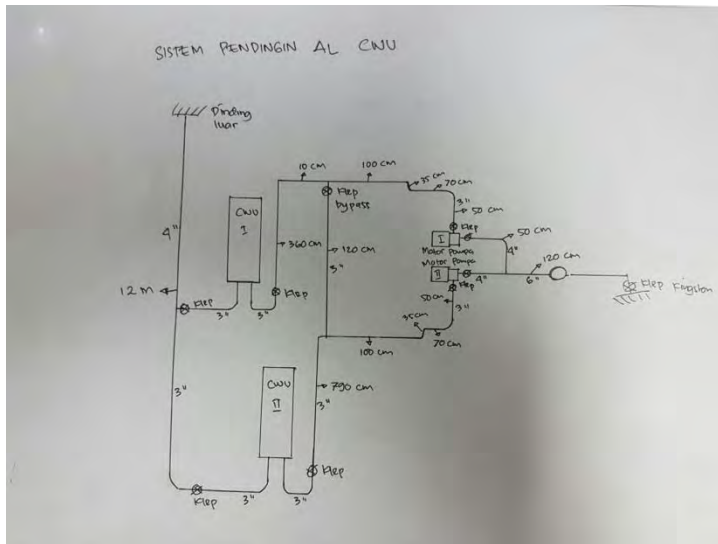
DAFTAR PUSTAKA

- Bayuseno,A.B.,Handoko,Erizal Dwi. *Analisa Korosi Erosi Pada Baja Karbon Rendah dan Baja Karbon Sedang Akibat Aliran Air Laut*.
- Tambunan,Mercys Lucya N.,dkk.,(2012).*KorosiErosi/Kavitasi*,<https://id.scribd.com/document/73060573/KOROSI-EROSI>,
- Somawardi,dkk.,(2006), *Pengaruh kecepatan fluida dan konsentrasi NaCl terhadap kerusakan material dalam bentuk korosi*
- Andira mulia siregar,Muhammad.,(2013),*Tentang CFD (Computational Fluid Dynamic)*.
- Fady R, Abrorul.,dkk.,(2015), *Analisa pengaruh jarak choke bean terhadap laju erosi aliran dua fasa steam-solid didalam elbow pada pipa vertikal injektor uap pt. Chevron Pasific Indonesia (CPI) menggunakan CFD*. Fakultas Teknik,Universitas Diponegoro.
- Wang,Lijun.,at all., 2016,*A Numerical study on efficient recovery of fine-grained minerals with vortex generators in pipe flow unit of a cyclonic-statis micro bubble flotation column*. China University of Mining, Jiangsu,China.
- Panaras,A.G.,LU,F.K., 2015. *Micro-vortex generator for shock wave/boundary layer interaction*. Prog. Aerosp. Sci. 74, 16-47
- Chen, X.,at all., 2004, *Application and experimental validation of a computational fluid dynamics (CFD)-based erosion prediction model in elbows and plugged tees*, Computers & Fluids 33 1251-1272.
- Adhika Pandyo, Nityoga.,(2012)*Studi pengaruh Ph lingkungan 4 terhadap laju korosi baja karbon API 5L X-52 sebagai pipa penyalur proses produksi gas alam yang mengandung gas CO₂ pada larutan NaCl 3.5 % dengan variasi laju aliran*.Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Evvett,Jack B.,Lin, Cheng.1937. *Fundamental of Fluid Mechanics*,The University of North Carolina at Charlotte.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Dimensi pipa pada sistem pendingin kondensor air conditioner



Data spesifikasi pompa sistem pendingin kondensor

b) Pompa AL AC

NSN : 4120-AI-801-0030

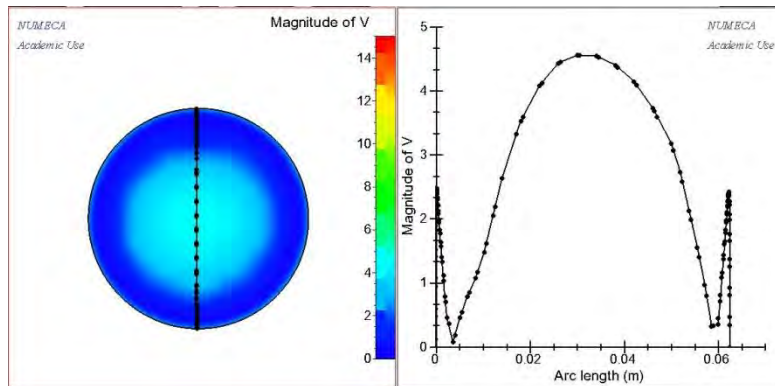
No. SPT : P. 505020301000

1) Pompa

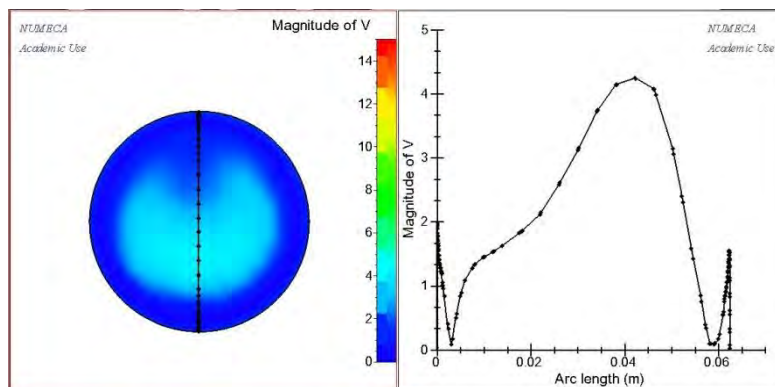
- Jumlah : 2 Unit
- No. SPT Pompa 1 : P. 505010301001
- No. SPT Pompa 2 : P. 505010301002
- NSN : 4320-AI-801-0207
- Merk : Sihi
- Type : Zlkc 65-125
- Jumlah : 2 Buah
- Model : Centrifugal
- Pabrik : Siemen & Hinch
Hamburg
- Th. Pembuatan : 1993
- Tekanan Kerja : 4 Bar
- Kapasitas : 740 Liter/Menit
- Speed / Putaran : 3.600 rpm

Kecepatan aliran pada potongan *elbow*

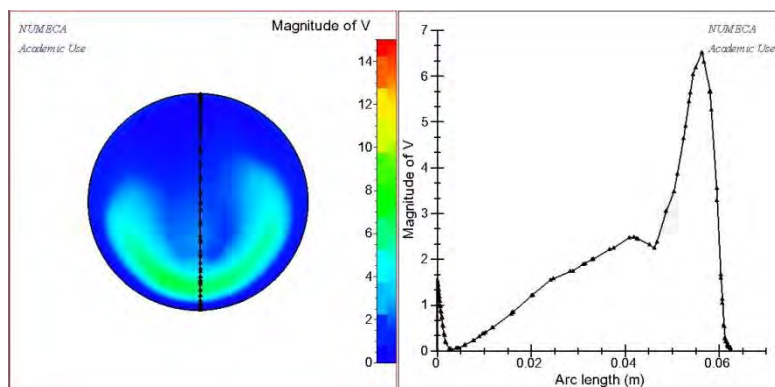
a. Kecepatan aliran pada *Elbow* standart



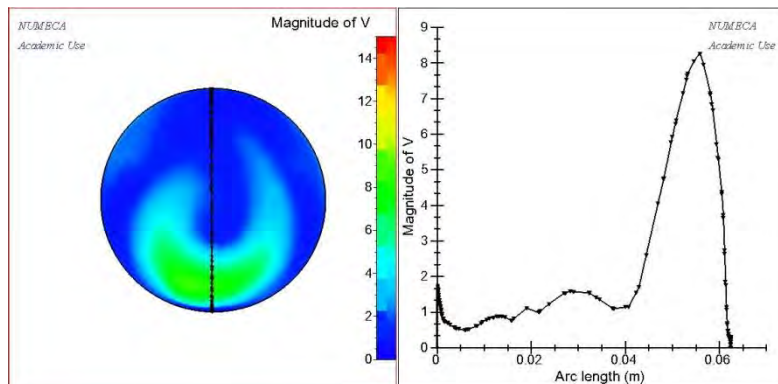
(Kecepatan aliran pada potongan 1)



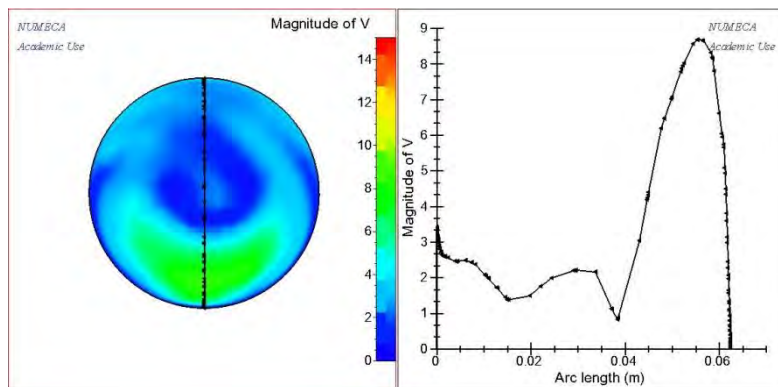
(Kecepatan aliran pada potongan 2)



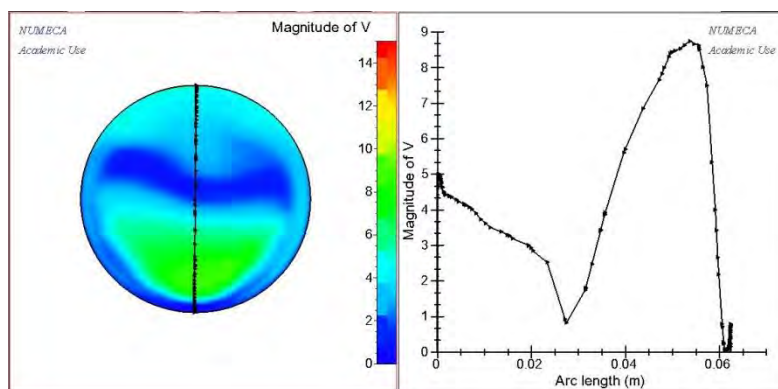
(Kecepatan aliran pada potongan 3)



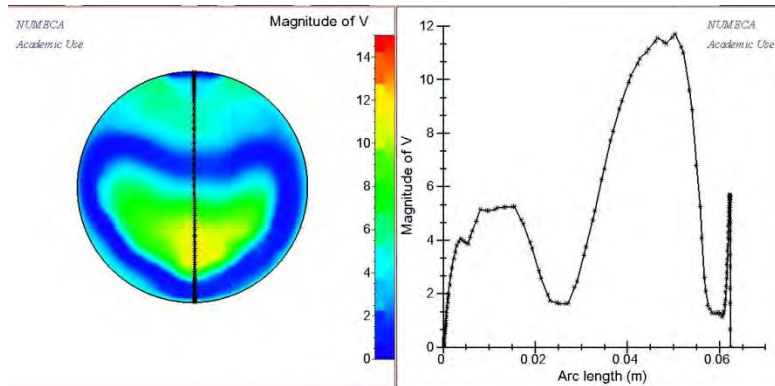
(Kecepatan aliran pada potongan 4)



(Kecepatan aliran pada potongan 5)

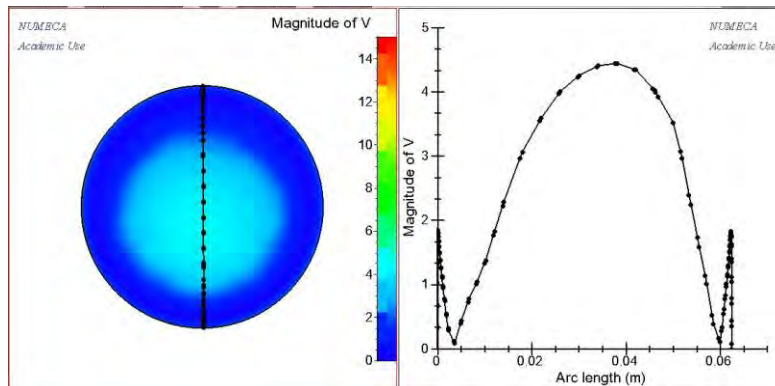


(Kecepatan aliran pada potongan 6)

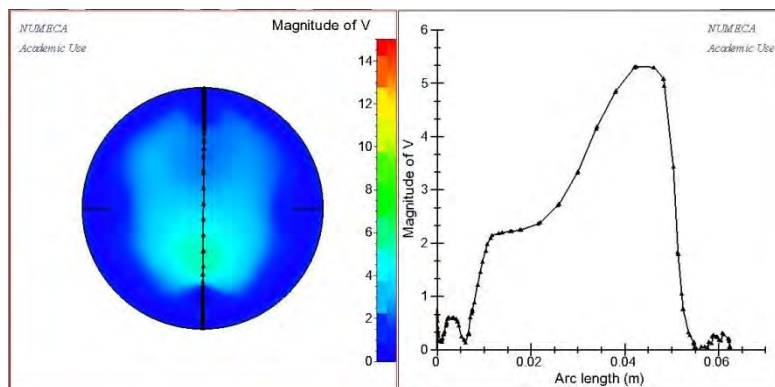


(Kecepatan aliran pada potongan 7)

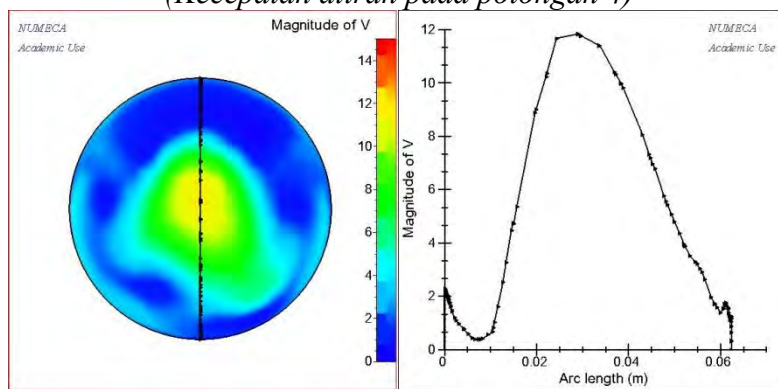
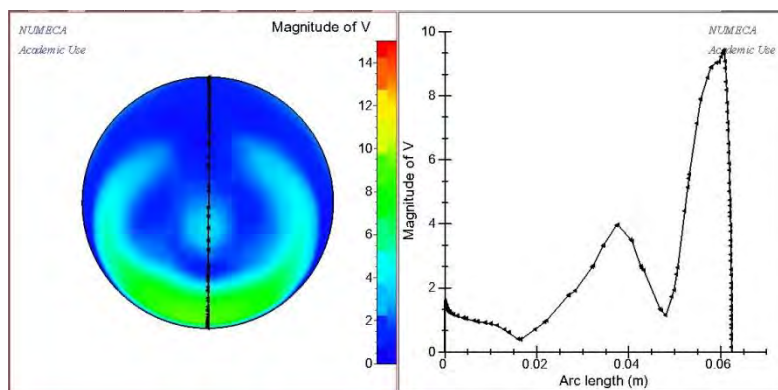
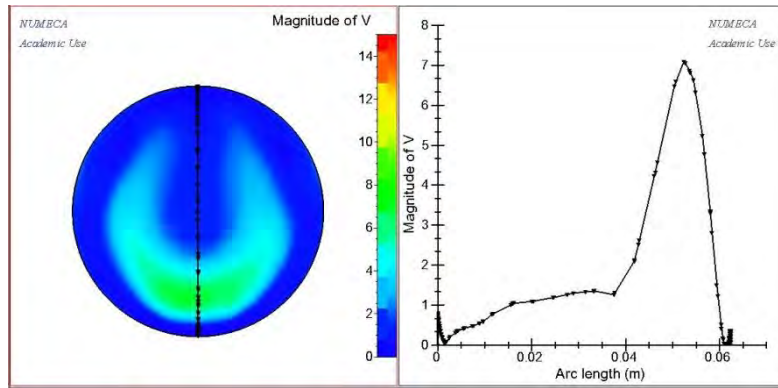
b. Kecepatan aliran pada *Elbow* modifikasi *vortex generator* pada jarak R

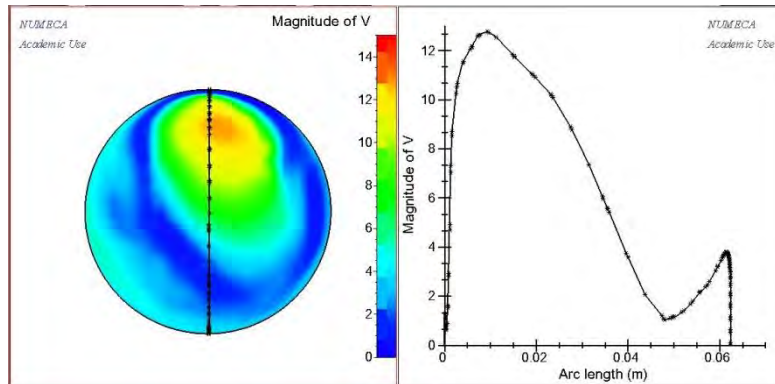


(Kecepatan aliran pada potongan 1)

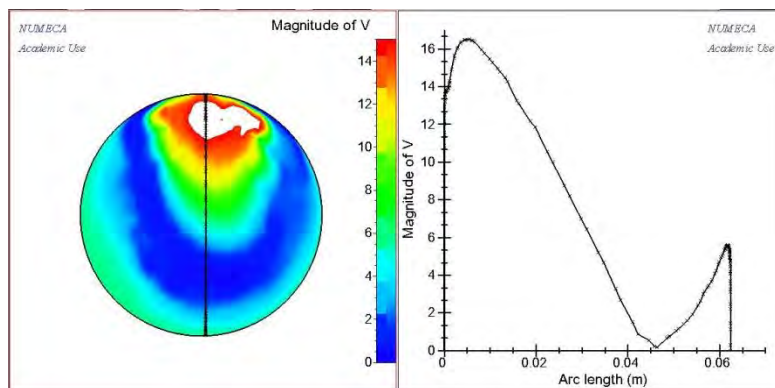


(Kecepatan aliran pada potongan 2)



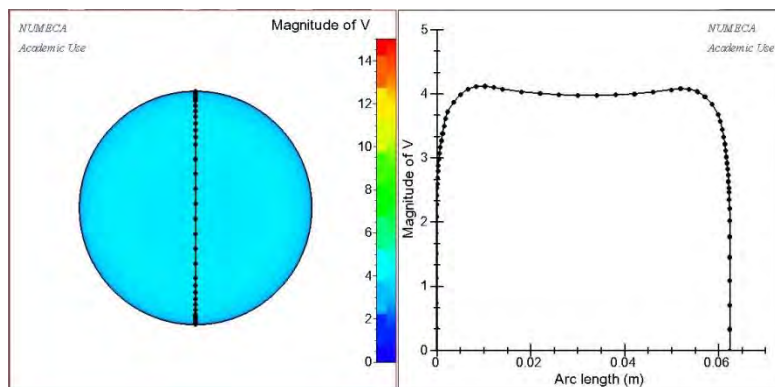


(Kecepatan aliran pada potongan 6)

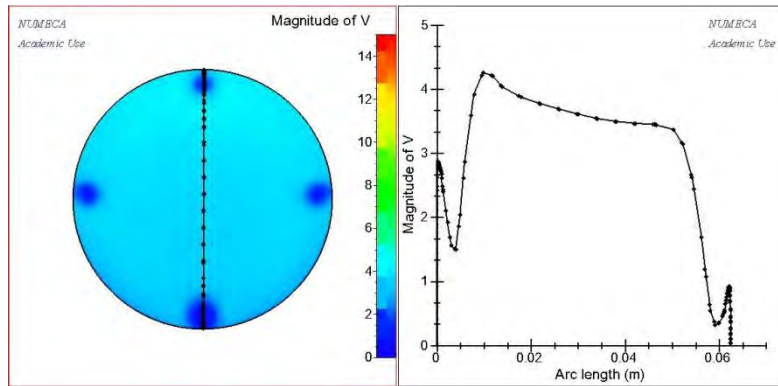


(Kecepatan aliran pada potongan 7)

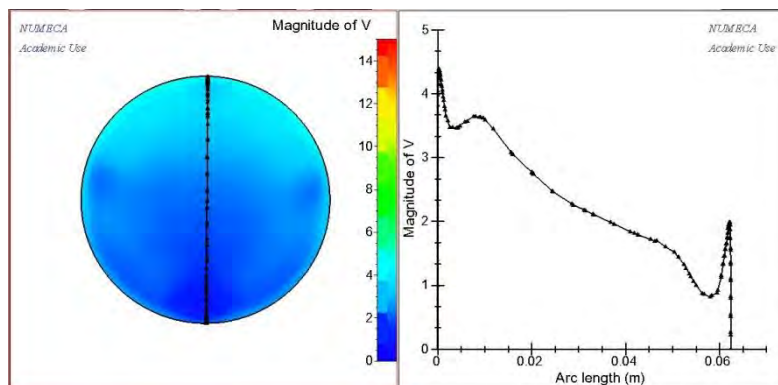
- c. Kecepatan aliran pada *Elbow* modifikasi *vortex generator* pada jarak $0.1R$ dari inlet *elbow*



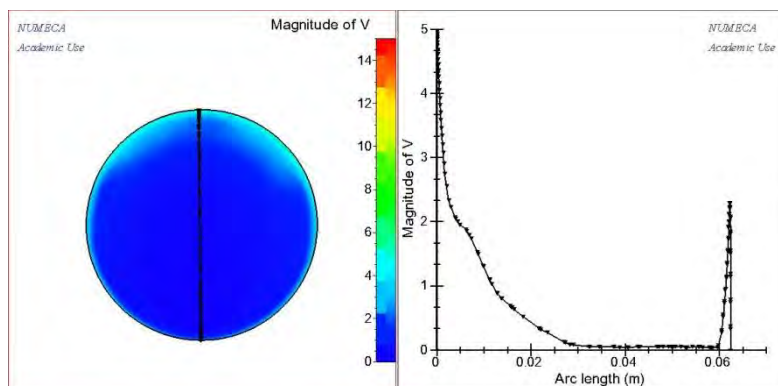
(Kecepatan aliran pada potongan 1)



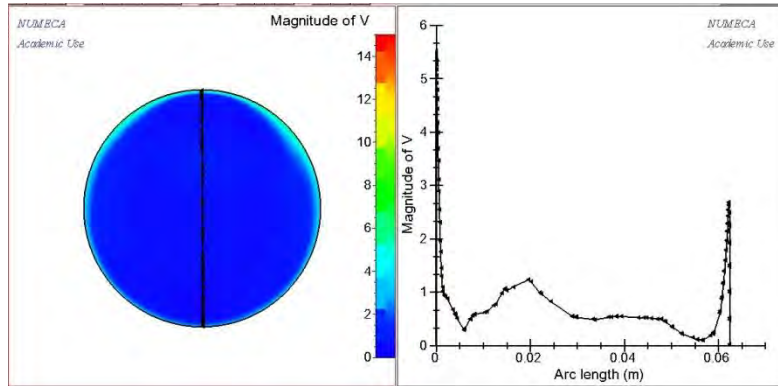
(Kecepatan aliran pada potongan 2)



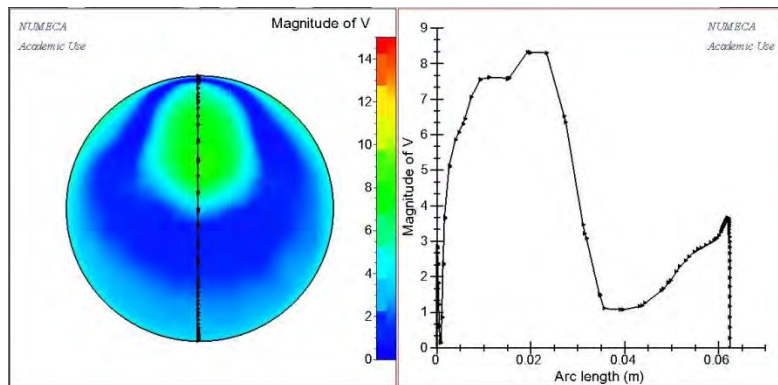
(Kecepatan aliran pada potongan 3)



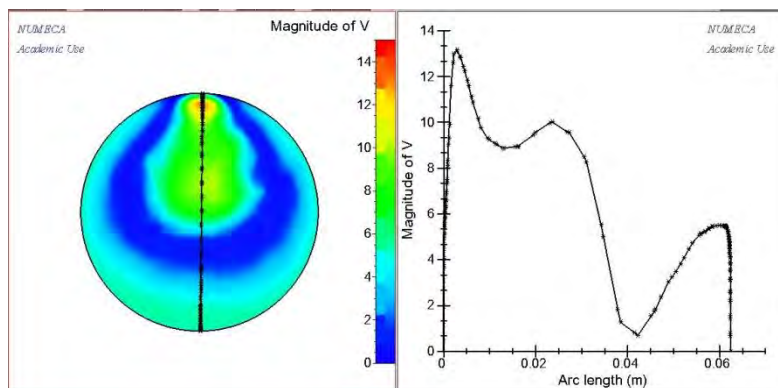
(Kecepatan aliran pada potongan 4)



(Kecepatan aliran pada potongan 5)



(Kecepatan aliran pada potongan 6)



(Kecepatan aliran pada potongan 7)

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Jember, 4 Juni 1995. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan suami istri, Moch Mahbub Junaidi dan Sumiati. Penulis memulai pendidikan formal di MI Zainul Hasan. Kemudian melanjutkan pendidikan ke MTs Zainul Hasan. Dan berlanjut pada SMA Negeri 2 Jember. Setelah lulus pada tahun 2013, penulis melanjutkan ke jenjang Strata-1 dan diterima di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan-Fakultas Teknologi Kelautan - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SNMPTN hingga terdaftar dengan NRP 42 13 100 059. Di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ini, penulis mengambil bidang studi *Marine Machinery and System* (MMS) untuk menyelesaikan tugas akhirnya. Selama masa kuliah, penulis aktif dalam kegiatan akademis dan non akademis. Dalam bidang non akademis penulis aktif sebagai anggota HIMASISKAL 2014-2015 sebagai Staf. Departemen Dalam Negeri, Staf Departemen Syiar di Lembaga Dakwah Jurusan (LDJ) Al Mi'raj Teknik Sistem Perkapalan pada periode kepengurusan 2014-2015. Menjabat sebagai Wakil Ketua Himpunan bidang pengembangan mahasiswa pada kepengurusan HIMASISKAL periode 2015-2016. Pada periode kepengurusan 2016-2017 penulis diamanahi sebagai supervisor laboratorium Marine Fluid Machinery (MMS) Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK,ITS.